



**UFAM**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE - IEAA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**MARCELO PEBLES GOMES PINTO**

**MODELAGEM HIDRODINÂMICA EM DISTINTAS ÁREAS  
DE INTERVENÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO ANTRÓPICA  
NO CERRADO AMAZÔNICO**

**DISSERTAÇÃO**

**Humaitá**

**2019**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE - IEAA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**MARCELO PEBLES GOMES PINTO**

**MODELAGEM HIDRODINÂMICA EM DISTINTAS ÁREAS  
DE INTERVENÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO ANTRÓPICA  
NO CERRADO AMAZÔNICO**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Marcos André Braz Vaz  
Coorientador: Dr. Marcelo Rodrigues dos Anjos

Humaitá  
2019

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

P659m Pinto, Marcelo Pebles Gomes  
Modelagem Hidrodinâmica Em Distintas Áreas De Intervenção De  
Uso E Ocupação Antrópica No Cerrado Amazônico / Marcelo  
Pebles Gomes Pinto. 2019  
81 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Marcos André Braz Vaz  
Coorientador: Marcelo Rodrigues dos Anjos  
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade  
Federal do Amazonas.

1. Drenagem. 2. Fluxo de água. 3. Cerrado Amazônico. 4. Ações  
Antropogênicas. 5. Vulnerabilidade. I. Vaz, Marcos André Braz II.  
Universidade Federal do Amazonas III. Título

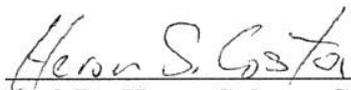


Ata do Exame da Defesa de Dissertação do Mestrado PPGCA,  
realizada no dia 31.07.2019, às 09:00h no auditório “Açaí”,  
IEAA/UFAM.

Aos trinta e um dias do mês de julho do ano de dois mil e dezenove (31.07.2019), no  
auditório “Açaí” do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA, da Universidade  
Federal do Amazonas – UFAM, às nove horas (09:00h), reuniu-se a Banca Examinadora  
aprovada pela Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais,  
conforme Portaria nº 029/2019 PPGCA de 29/07/2019, composta pelo(a) Prof. Dr. Marcos André  
Braz Vaz (orientador(a) e presidente da banca); Prof. Dr. Heron Salazar Costa e o(a) Prof. Dr.  
Vairton Radmann. A reunião teve por objetivo julgar o trabalho do(a) mestrando(a): Marcelo  
Pebles Gomes Pinto sob o título “Modelagem Hidrodinâmica em Distintas Áreas de  
Intervenção de Uso e Ocupação Antrópica no Cerrado Amazônico”. Os trabalhos foram  
abertos pelo(a) Prof. Dr. Marcos André Braz Vaz. A seguir foi dada a palavra ao(à) mestrando(a)  
para apresentação do trabalho, cada examinador(a) arguiu o(a) examinando(a), com tempos iguais  
de arguição e resposta. Terminadas as arguições, procedeu-se o julgamento do trabalho, concluindo  
à Banca Examinadora: aprovado (aprovado ou não aprovado). Nada mais havendo  
a tratar, foi lavrada a presente ata, e assinada pelos **Membros da Banca Examinadora**.

Humaitá-AM, 31 de julho de 2019.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Marcos André Braz Vaz  
Presidente/Orientador(a)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Heron Salazar Costa  
Membro Titular

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Vairton Radmann  
Membro Titular

*Em memória ao meu querido avô Francisco e a minha querida amiga Ediene.*

## **Agradecimentos**

A Deus.

À minha família, pelo apoio incondicional recebido durante todos os momentos. Principalmente a esposa Ludimila que me deu o meu maior presente a minha filha Maitê. Além dos meus pais (Kátia e Alzariais), minhas avós: Donatila e Nazaré e minhas queridas tias Nádia, Nadir e Neide. A minha irmã Marcela e ao meu cunhado Michel.

Ao meu orientador, professor Dr. Marcos André Braz Vaz, pela sua dedicação, confiança e paciência a minha pessoa, por compartilhar do seu conhecimento e disponibilizar seu tempo.

Ao meu co-orientador Marcelo dos Anjos e a todo os colegas de LIOP pelo esforços prestados para a realização da pesquisa. Sem vocês nada disso era possível.

Aos amigos, Fernanda, Miqueias, Neriane, Dayanne, Ayrton Sena, Luan, Luiz Müller, Luana Talita, Harumy, Sielane e todos que ajudaram esse processo de pós-graduação.

Aos meus colegas envolvidos no estudo.

Aos meus professores, que com seus ensinamentos contribuíram para minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

Um agradecimento especial ao Centro do Menor e aos Salesianos, colaboradores e a Articulação da Juventude Salesiana (AJS) pela educação e por despertar a Vocação à pesquisa, ética e ao protagonismo.

Aqueles que não estão presentes nestas palavras, mas que direta ou indiretamente participaram desta fase da minha vida.

A todos estes deixo meus sinceros agradecimentos.

*continue nadando...*

## Resumo

Entre os biomas, a análise da interação da dinâmica da água com componentes bióticos e abióticos destaca o Cerrado amazônico, que é cercado pela Floresta Amazônica, criando um mosaico único e complexo de biomas e entre essas especificidades na região há pressão exercida pelo homem. Diante deste problema, este trabalho teve como objetivo: modelar o fluxo de água, superficial e subterrâneo, em diferentes áreas de uso e ocupação antrópica nos campos naturais da Amazônia. Com o método de sobreposição de camadas topográficas e flutuação dinâmica de águas superficiais e subterrâneas, associadas a diferentes tipos de uso e ocupação antrópica de áreas de savanas amazônicas. Este estudo constatou que quanto maiores as intervenções desorganizadas exercidas pelas ações antrópicas sobre um cerrado amazônico, maiores são as consequências adversas para os componentes bióticos e abióticos desse bioma, como o aumento de áreas vulneráveis a inundações e o surgimento de poças temporárias que podem servir como criadouros de vetores que transmitem doenças de vinculação hídrica. Entretanto, tais pesquisas podem servir, para os gestores da sociedade, como subsídio de planejamento do uso e zoneamento da terra para inserção de melhores projetos de drenagem e, em geral, de projetos de saneamento básico para a região sudoeste da Amazônia.

**Palavras-chave:** Drenagem, Fluxo de água, Cerrado amazônico, Ações antropogênicas, Vulnerabilidade.

## **Abstract**

Among many other ecosystems, the interaction analysis of water mechanics with biotic and abiotic components stands out the Amazonian Cerrado, which is surrounded by the Amazon Forest, creating a unique and dynamic mosaic of biomes and among these specificities in the region there is pressure exercised by man. Faced with this problem, this work has as its objective: to model the water flow, superficial and underground, in different areas of use and anthropic occupation on the natural Amazonian fields. With the method of overlapping topographic layers and dynamic fluctuation of surface and groundwater, associated to different types of use and occupation of areas of Amazonian savannas. This study found that the greater the disorganized interventions exerted by anthropic actions on a cerrado area, the greater the adverse consequences to the biotic and abiotic components of the environment, such as the increase of areas vulnerable to flooding and the emergence of temporary pools that can serve as breeding grounds vectors of disease transmission. However, such research may serve, for the managers of the society, subsidy of land management and planning under pressure of better drainage projects and, in general, basic sanitation projects for the southwest region of the Amazon.

**Keywords:** Drainage, Water flow, Amazonian savannah, Anthropogenic actions, Vulnerability.

## Lista de ilustrações

Figura 1 – Diagrama dos principais componentes do ciclo hidrológico . . . . .	23
Figura 2 – Cerrado Brasileiro: cerrado amazônico - área de estudo . . . . .	31
Figura 3 – Áreas de níveis diferentes de uso e ocupação antrópica nos campos amazônicos. . . . .	32
Figura 4 – Imagem aérea da área de baixa intervenção antrópica . . . . .	33
Figura 5 – Paisagem da área de baixa intervenção antrópica - campos naturais	34
Figura 6 – Imagem aérea da área de moderada intervenção antrópica (B) . . .	35
Figura 7 – Paisagem da área de moderada intervenção antrópica (B) . . . . .	36
Figura 8 – Imagens aéreas da área de alta intervenção antrópica (C) . . . . .	37
Figura 9 – Paisagem da área de alta intervenção antrópica (C) . . . . .	38
Figura 10 – Imagem aérea da área de altíssima intervenção antrópica (D) . . . .	38
Figura 11 – Paisagem da área de altíssima intervenção o antrópica (D) . . . . .	39
Figura 12 – Malha amostral do levantamento planialtimétrico . . . . .	40
Figura 13 – Página do INMET . . . . .	41
Figura 14 – Estação automática do INMET no município de Humaitá-AM . . . . .	41
Figura 15 – Localização da Estação em relação as áreas de estudo . . . . .	42
Figura 16 – Coletas do nível estático nos piezômetros . . . . .	44
Figura 17 – Esquema de um piezômetro (esquerda) e fotos da confecção filtro (direita) . . . . .	44
Figura 18 – VANT (esquerda) e as imagens trabalhadas em níveis de cinzas de preto e branco a 75% e 50% . . . . .	46
Figura 19 – Representação Gráficas do comportamento das águas subterrâneas em relação as variáveis meteorológicas . . . . .	52
Figura 20 – Planialtimetria da área de baixa intervenção antrópica . . . . .	58
Figura 21 – Fluxo de escoamento subterrâneo na área de baixa intervenção antrópica . . . . .	59
Figura 22 – Fluxo subterrâneo em área de baixa intervenção antrópica . . . . .	59
Figura 23 – Uso e ocupação do solo em área de baixa intervenção antrópica. . .	60
Figura 24 – Modelo 3D de área para inundação simulada para A . . . . .	61
Figura 25 – Planialtimetria da área de moderada intervenção antrópica . . . . .	62
Figura 26 – Fluxo de escoamento superficial na área de moderada intervenção antrópica . . . . .	63
Figura 27 – Fluxo subterrâneo em área de moderada intervenção antrópica . . .	64
Figura 28 – Uso e ocupação do solo em área de moderada intervenção antrópica	65
Figura 29 – Modelo 3D de área para inundação simulada B . . . . .	66
Figura 30 – Planialtimetria da área de alta intervenção antrópica . . . . .	67
Figura 31 – Fluxo de escoamento superficial na área de alta intervenção antrópica	68

Figura 32 – Fluxo subterrâneo em área de alta intervenção antrópica (planejada)	69
Figura 33 – Uso e ocupação do solo em área de alta intervenção antrópica . . .	70
Figura 34 – Modelo 3D de área para inundação simulada <i>C</i> . . . . .	71
Figura 35 – Planialtimetria da área de alta (não planejada) intervenção antrópica	72
Figura 36 – Fluxo de escoamento superficial na área (não planejada) de alta intervenção antrópica . . . . .	72
Figura 37 – Fluxo subterrâneo em área de alta (não planejada) intervenção antrópica . . . . .	73
Figura 38 – Uso e ocupação do solo em área de alta (não planejada) intervenção antrópica . . . . .	73
Figura 39 – Modelo 3D de área para inundação simulada <i>D</i> . . . . .	74

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Localidade do ponto médio das áreas de estudo e da estação meteorológica automática do INMET . . . . .	42
Tabela 2 – Coordenadas dos piezômetros instalados . . . . .	43
Tabela 3 – Estatística descritiva do nível do lençol freático em área de baixa interferência antrópica . . . . .	53
Tabela 4 – Estatística descritiva do nível estático do lençol freático para área de moderada interferência antrópica . . . . .	54
Tabela 5 – Estatística descritiva do nível estático do lençol freático para área de alta a interferência antrópica . . . . .	55
Tabela 6 – Estatística descritiva do nível estático do lençol freático para área de altíssima a interferência antrópica . . . . .	56

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b> . . . . .	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>Justificativa</b> . . . . .	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>Objetivos</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>Revisão da Literatura</b> . . . . .	<b>20</b>
<b>4.1</b>	<b>Modelagem hidrológica em relação ao cerrado brasileiro e amazônico.</b> . . . . .	<b>20</b>
<b>4.2</b>	<b>Classificação dos modelos</b> . . . . .	<b>21</b>
<b>4.3</b>	<b>Modelagem Hidrológica</b> . . . . .	<b>21</b>
<b>4.4</b>	<b>Modelos para fluxo hidrodinâmico</b> . . . . .	<b>23</b>
<b>4.5</b>	<b>Cerrado</b> . . . . .	<b>24</b>
4.5.1	Cerrado Amazônico . . . . .	25
<b>4.6</b>	<b>Uso e ocupação e Urbanização</b> . . . . .	<b>26</b>
4.6.1	Conjuntos habitacionais e áreas loteads . . . . .	26
4.6.2	Lixões . . . . .	27
<b>4.7</b>	<b>Hidrodinâmica: elementos e princípios</b> . . . . .	<b>28</b>
4.7.1	Precipitação . . . . .	28
4.7.2	Escoamento superficial . . . . .	28
4.7.3	Lençol Freático . . . . .	29
4.7.4	Zona de flutuação freática (zona não saturada) e zona de saturação	29
<b>5</b>	<b>Materiais e Métodos</b> . . . . .	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>Área de estudo</b> . . . . .	<b>30</b>
5.1.1	Área de baixa intervenção antrópica . . . . .	32
5.1.2	Área de moderada intervenção antrópica . . . . .	34
5.1.3	Área de moderada intervenção antrópica . . . . .	36
5.1.4	Área de altíssima intervenção antrópica (não planejada) . . . . .	38
<b>5.2</b>	<b>Aquisição dos dados e coletas</b> . . . . .	<b>39</b>
5.2.1	Dados meteorológicos . . . . .	40
5.2.2	Nível estático da água no lençol freático . . . . .	42
5.2.3	Análises dos parâmetros de tipos de cobertura de solos, vegetações e uso e ocupação do nas áreas de estudo . . . . .	45
<b>5.3</b>	<b>Método de modelagem</b> . . . . .	<b>46</b>
<b>5.4</b>	<b>Análises do tratamento estatístico</b> . . . . .	<b>47</b>

5.4.1	Tamanho da amostra . . . . .	47
5.4.2	Mínimo . . . . .	48
5.4.3	Máximo . . . . .	48
5.4.4	Amplitude total . . . . .	48
5.4.5	Mediana . . . . .	48
5.4.6	Percentis . . . . .	48
5.4.7	Desvio Interquartilico . . . . .	49
5.4.8	Média Aritmética (amostral) . . . . .	49
5.4.9	Variância e Desvio Padrão . . . . .	49
5.4.10	Coeficiente de Variação . . . . .	49
5.4.11	Assimetria (g1) e Curtose (g2) . . . . .	50
<b>6</b>	<b>Resultados e Discussão . . . . .</b>	<b>51</b>
<b>6.1</b>	<b>Análise da estatística descritiva dos níveis estáticos do lençol freático e as variáveis meteorológicas . . . . .</b>	<b>51</b>
6.1.1	Resultado gráfico dos níveis do lençol freático . . . . .	51
6.1.2	Resultado da estatística descritiva da flutuação do nível estático do lençol freático . . . . .	52
<b>6.2</b>	<b>Análise da descrição quantitativa e espacial de fluxo hídrico e simulações nas áreas de intensidade interferência antrópica . .</b>	<b>57</b>
6.2.1	Área de baixa intervenção antrópica . . . . .	57
6.2.2	Área de moderada intervenção antrópica . . . . .	61
6.2.3	Área de alta intervenção antrópica (planejada) . . . . .	67
6.2.4	Área de alta intervenção antrópica (não planejada) . . . . .	72
<b>7</b>	<b>Considerações finais . . . . .</b>	<b>75</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>77</b>

## 1 Introdução

A água é um elemento fundamental para a vida e seu papel é indispensável em diversas atividades antrópicas e de grande importância no equilíbrio do meio ambiente. É o principal recurso natural, sendo renovável pelos processos físicos do ciclo hidrológico tendo como característica a complexidade e o dinamismo em relação à interação com outros componentes do meio ambiente. Hidrodinâmica é a ciência que visa estudar a dinâmica deste elemento (água) e é baseada nas interações da matéria com outros componentes físicos do ambiente, tais como: solo e atmosfera (gases e partículas), independentemente do estado físico, a forma de interação dinâmica pode ser avaliada em seu estado gasoso (vapor de água), líquido ou sólido. (CAMPOS; CAMARGO; HARARI, 2010) .

A dinâmica da água pode ser analisada em diferentes ambientes, podendo ser controlada ou não, e sofrer variações nos parâmetros físicos de temperatura, pressão, elevação e barreiras.(BERMÚDEZ; LEAL, 2012). Essas variações, em seu comportamento, podem se diferenciar de acordo com as diversas formas de sistema que elas se encontram. Em escalas maiores a sua mecânica pode mudar quando inseridas em diferentes biomas, seja ela na sua forma de escorrer, infiltrar e percolar, mudar de estado, seja por variações de pressão e temperatura, e interagir no transporte e combinações químicas com o solo ou ar.

Entre muitos outros ecossistemas, a análise de interação da mecânica hídrica com componentes bióticos e abióticos, destaca-se o Cerrado Amazônico que se encontra envolto a Floresta Amazônica, criando um mosaico único e dinâmico de biomas (ecótono) e dentre essas especificidades na região existe a pressão exercida pelo homem. Pois, esse debate pode ser explicado pelo fato de que essa região está inserida, atualmente, na fronteira do arco do desmatamento, ou seja, é a última faixa de resistência às pressões, políticas, sociais e econômicas, ao nível nacional, para a substituição dos ambientes naturais por atividades agrícolas, pecuárias e industriais (CUTRIM et al., 2011).

Destaca-se como protagonista desse debate o **conflito** que se encontra em meio ao embate da conservação da floresta amazônica em relação ao desenvolvimento de processos agrícolas e pecuários, sendo que o peculiar bioma, Cerrado Amazônico, em meio a essa problemática, torna-se coadjuvante e, até mesmo, meio de canal exploratório na atenuação desses interesses. A exploração dos campos naturais amazônicos estão servidos como áreas que atende tanto ao desenvolvimento dos interesses dos agropecuaristas quanto aos conservacionistas da floresta amazônica (PERES et al., 2016).

É importante salutar que o Cerrado tem características únicas que são

importantes para a biodiversidade, já que registra, entre todos os biomas brasileiros, uma rica biodiversidade flora e faunística. Em relação ao acúmulo de água o cerrado brasileiro é conhecido como as “caixas d’águas” do país, pois, são responsáveis pelo abastecimento dos mais importantes aquíferos do Brasil. Além do mais, é o bioma que mais sofre com as ações de pressões humanas, já que a maior parte desse bioma encontra-se no centro oeste brasileiro, onde se implantou uma política baseada na agricultura e pecuária, que são atividades expansionistas e sedentas por áreas continuamente maiores (MELZ; TIAGO, 2009).

Entretanto, o Cerrado Amazônico tem suas peculiaridades semelhantes e distintas em comparação ao Cerrado encontrado na região central do Brasil, uma dessas diferentes características é a topográfica, já que apresenta na sua planaltimetria, baixas declividades, em contrapartida o centro-oeste apresenta uma complexidade topográfica bastante acentuada de declividades notáveis. Os campos amazônicos também há características diferentes ao solo e origem de tempo de constituição que são desconhecidas (FERREIRA; TONI, 2011).

Tais ações antropogênicas descaracterizam esse ecossistema, levando a desfiguração natural e vindo a criar um problema de magnitude irreparável para ecologia local. Essa exploração pode ser evidenciada pela proporção da área de interação direta propiciada pelas atividades antropogênicas de uso e ocupação do solo, sendo elas de vias particulares (individuais) ou coletivas (públicas), essas atividades são de origem **não natural**, isto é, são atividades que usam técnicas ou ações de manejo de usos/costumes diretos, empregado pelo homem. Diante desse cenário, esse ecossistema está servindo como áreas de intervenção antrópica, como: de depósito de resíduos sólidos e efluente, de empréstimo de solo para a construções de estradas, para conjuntos habitacionais, industriais e de diversas culturas e pecuária (PIMENTA; MARCO JÚNIOR, 2011).

A cobertura e uso do solo são conceitos semelhantes. Segundo Torres et al. (2005), a cobertura do solo compreende a caracterização do estado físico, químico e biológico da superfície terrestre como, floresta, gramínea, água, ou área construída e uso do solo se refere aos propósitos humanos associados àquela cobertura. Por exemplo: pecuária, recreação, conservação, áreas residenciais e uma única classe de cobertura pode suportar múltiplos usos, como extração de madeira, preservação de espécies e, recreação em áreas de floresta. Ao mesmo tempo, em que um único sistema de uso pode incluir diversas coberturas, como certos sistemas agropecuários, combinam áreas cultivadas e pastagem melhoradas, áreas de reserva e áreas construídas. Mudanças no uso do solo normalmente acarretam mudanças na cobertura do solo, mas podem ocorrer modificações na cobertura sem que isto signifique alterações ao seu uso.

Diante desse cenário, é importante realizar pesquisas de mensurações de ameaças da caracterização natural do Cerrado Amazônico, por meio de descrições do quanto as ações antrópicas de uso e ocupação sobre esse ecossistema está alterando seu equilíbrio ecológico e quais possíveis consequências o homem pode sofrer com tais mudanças.

## 2 Justificativa

As características desse bioma é bastante conhecido e amplamente divulgadas na comunidade científica, em relação aos seus componentes físicos naturais e a sua dinâmica interna e com os sistemas ambientais adjacentes, tal conhecimento desse ecossistema se deve, pelo fato, de está localizado no centro oeste brasileiro, ou seja, em uma região de grande densidade de uso e ocupação demográfica e, a facilidade de acesso e proximidade dos grandes centros de pesquisas. Entretanto, isso não é evidenciado no que diz respeito ao Cerrado Amazônico, em especial a região sudoeste da Amazônia legal.

As nuances do Cerrado Amazônico, que em parte são similares ao do centro oeste, como vegetação xerófila ou rasteiras com a presença de arbustos, contudo, é importante enfatizar que em relação a outros componentes ambientais são bem distintos como a tipologia solo, relevo e o fluxo hidrodinâmico, pois, dentre tantos fatores há influência maior na flutuação dinâmica, esse último deve-se ao fato de que está inserido em meio a maior bacia hidrológica do mundo.

O conhecimento sistemático da hidrodinâmica (fluxo hídrico) pode através de sua técnica-científica, já conhecidas, descrever de forma esquemática, lógica e descritiva os esse fluxo da água, ou seja, dinâmica de matéria-energia e de interação física, química e biológica com os elementos abióticos e bióticos. Essa técnica pode medir e prospectar de forma quali-quantitativa o seu estado natural, sem ou pouca interferência antropogênica, ou não-natural com alta relação de ações de manejo ou uso e ocupação exercida pelo homem.

A importância de analisar tal dinâmica com as interferências diretas e indiretas das ações do homem social e politicamente organizado com esse ecossistema, se deve ao fato de que se mensurar as possíveis intensidades, tempo (curto, médio ou longo) dos impactos ambientais-sociais adversos sobre o meio físico, biótico e social, pode-se ter como respostas, as reações. como fenômenos: de aumento de dificuldade no acesso à água de boa qualidade, enchentes e alagamentos e exposição da população a águas contaminadas gerando problemas de sociais, econômicos de saúde pública.

Ao relacionar tais impactos com os modos de usos e costumes da população e de como cada atividade pode interferir nessa dinâmica. Pode-se simular não apenas a oferta desse recurso (água) como a forma de qualidade e estado e, diante dessa informação, buscar meios para atenuar ou mitigar os possíveis impactos. Pesquisas sobre as alterações nos padrões de uso e cobertura do solo têm despertado interesse, na comunidade geral, devido ao acelerado processo de mudança, das últimas décadas, aos possíveis impactos ambientais e socioeconômicos, que causam preocupações a níveis locais e globais.

No contexto global, surgem questões como a interação entre padrões de uso e cobertura do sol e mudanças climáticas globais, processos de desertificação, perda da biodiversidade e destruição de 'habitats'. Já em termos regionais, surgem questões ambientais relacionadas à poluição do ar e da água, degradação do solo, desertificação, eutrofização de corpos d'água e acidificação do solo. Em âmbito local, podem ser enfatizados os problemas de contaminação, extinção de espécies endêmicas e o aumento de espécies e organismos exóticos.

Já no cenário socioeconômico existem inquietações sobre a disponibilidade de alimentos e de água para a crescente população mundial em meio a migração dos povos em dificuldades econômicas e políticas, a expansão dos subúrbios e áreas industriais, aumento da mancha urbana, causando perda de áreas para agricultura e de ecossistemas naturais de forma exponencial, em contrapartida, não acompanham no mesmo ritmo de crescimento as ações de saneamento e políticas públicas: sociais, saúde, educação e infraestrutura.

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Modelar o fluxo hídrico, superficial e subterrâneo, em distintas áreas de uso e ocupação antrópica sobre os campos naturais amazônicos.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Descrever o fluxo de matéria e energia de caráter hídrico através da análise hidrodinâmica da superfície e subterrânea através da modelagem ambiental;
- Caracterizar e comparar as peculiaridades de fluxo hídrico em cada área determinada;
- Simular os possíveis impactos na flutuação do regime natural hídrico nos ambientes.

## 4 Revisão da Literatura

### 4.1 Modelagem hidrológica em relação ao cerrado brasileiro e amazônico.

A modelagem estatística no Brasil está em fase de desenvolvimento no Brasil. Todavia, ainda são poucos os pesquisadores e outros profissionais que produzem modelos científicos, em comparação a outros países. Esse cenário é preocupante quando se trata da região norte do país, onde as escalas de estudos ambientais são, por muitas das vezes, superficiais e genéricas com ínfima participação de produção científica de precisão, isto é, não existindo um mínimo teor de detalhes em suas descrições (ALVES et al., 2007; VASCONCELOS; MIGUEZ; VAZQUEZ, 2016). Por exemplo, a falta de conhecimento sobre o cerrado que se situa na região amazônica.

O bioma Cerrado é altamente estudado e muito se sabe sobre suas características físicas, químicas, biológicas e dinâmicas de fauna e flora, na região do centro oeste brasileiro. Entretanto, parte desse bioma encontra-se em meio à região amazônica com peculiaridades próprias impostas pelo ambiente, e tendo característica de solo, vegetação, fluxo de água, topografia, biota, clima e, principalmente, uma dinâmica própria de interação com os fatores abiótico e biótico de fluxo de matéria e energia com os ecossistemas adjacentes, tornando-se um sistema ambiental único (VIEIRA et al., 2002) .

Contudo, este típico ecossistema está sofrendo impactos não naturais promovidos por atividades humanas, como: atividades agrícolas; pecuária e piscicultura; zoneamento residências e industrial; construções de conjuntos habitacionais, instituições particulares e governamentais; receptores de resíduos sólidos sem tratamento (lixão e aterros controlados) entre outras ações de impactos antrópicos. Esse ambiente encontra-se sob vários níveis de pressão exercida pela ocupação e uso de suas áreas, gerando descaracterização dos seus fatores ambientais, dentre eles o fluxo hídrico (SAWYER, 2002; DEBORTOLI; RODRIGUES FILHO; DUBREUIL, 2011) .

A dinâmica do fluxo hídrico é uma forma de determinar a qualidade de um ambiente e suas implicações, partindo da premissa que, o principal agente do fluxo hídrico (água) é responsável diretamente pelas mais evidentes reações químicas, físicas e biológicas em qualquer sistema ambiental. Todavia, modelar a mecânica de forma específica, de modo a quantificar a matéria (água) e todas as suas implicações de mudanças no seu transporte e relações com outros agentes ambientais abióticos e bióticos (energia), faz com que esse instrumento de conhecimento se torne fonte de conservação desse sistema ecológico (LIMA et al., 2009), ou seja, a modelagem ambiental hidrológica se torna um instrumento técnico científico capaz de descrever de

forma esquemática, detalhada e metodológica da dinâmica.

Contudo, aprender a modelar é antes de tudo, aprender a observar, a notar detalhes, a esmiuçar e a questionar. Mas também, é ter consciência da limitação. A hidrologia é uma disciplina essencial, dada a necessidade de se explorar os recursos hídricos. Essa exploração ainda vem sendo feita sem nenhum critério. A modelagem hidrológica surge como uma ferramenta adequada de antecipar acontecimentos e apontar alternativas que conduzam a manutenção da capacidade produtiva do ambiente (RENNÓ; SOARES, 2000). Discussões sobre aspectos relacionados à classificação de modelos podem ser encontradas em Tucci (1998), Vertessy et al. (1993) e Maidment (1993).

## 4.2 Classificação dos modelos

A palavra modelo possui muitas particularidades em seus significados. De modo geral pode ser compreendido sendo “qualquer representação simplificada da realidade” ou de um aspecto do mundo real que surja como de interesse do pesquisador. Como os modelos podem ser classificados sob diferentes aspectos. Os modelos são classificados de acordo com os tipos de variáveis utilizadas na modelagem estocástica ou determinística, as relações entre essas variáveis podem ser conceituais, isto é, a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos) é a existência ou não de relações espaciais (pontuais ou distribuídos), tendo dependências temporais estáticas ou dinâmicas (CHORLEY; HAGGETT, 1975).

Os modelos podem ser empíricos, quando utilizam relações baseadas em observações. Em geral, estes modelos são bastante simples e úteis no dia a dia, pois, levar-se em conta, a capacidade técnica e efetiva do modelo, pois, o modelo bom é aquele executável e compreendido. No entanto, são pouco robustos, uma vez que são específicos para aquela região para quais as relações foram estimadas. Além disso, os modelos empíricos não possibilitam fazer simulações de mudanças em condições para os quais o modelo não previu, tais como, chuvas extremamente altas, mudança de uso do solo, etc. Os modelos podem ser também baseados em processos (modelos conceituais) e, em geral, são mais complexos que os empíricos, uma vez que procuram descrever todos os processos que envolvem determinado fenômeno estudado, assim afirmam o Rennó e Soares (2000).

## 4.3 Modelagem Hidrológica

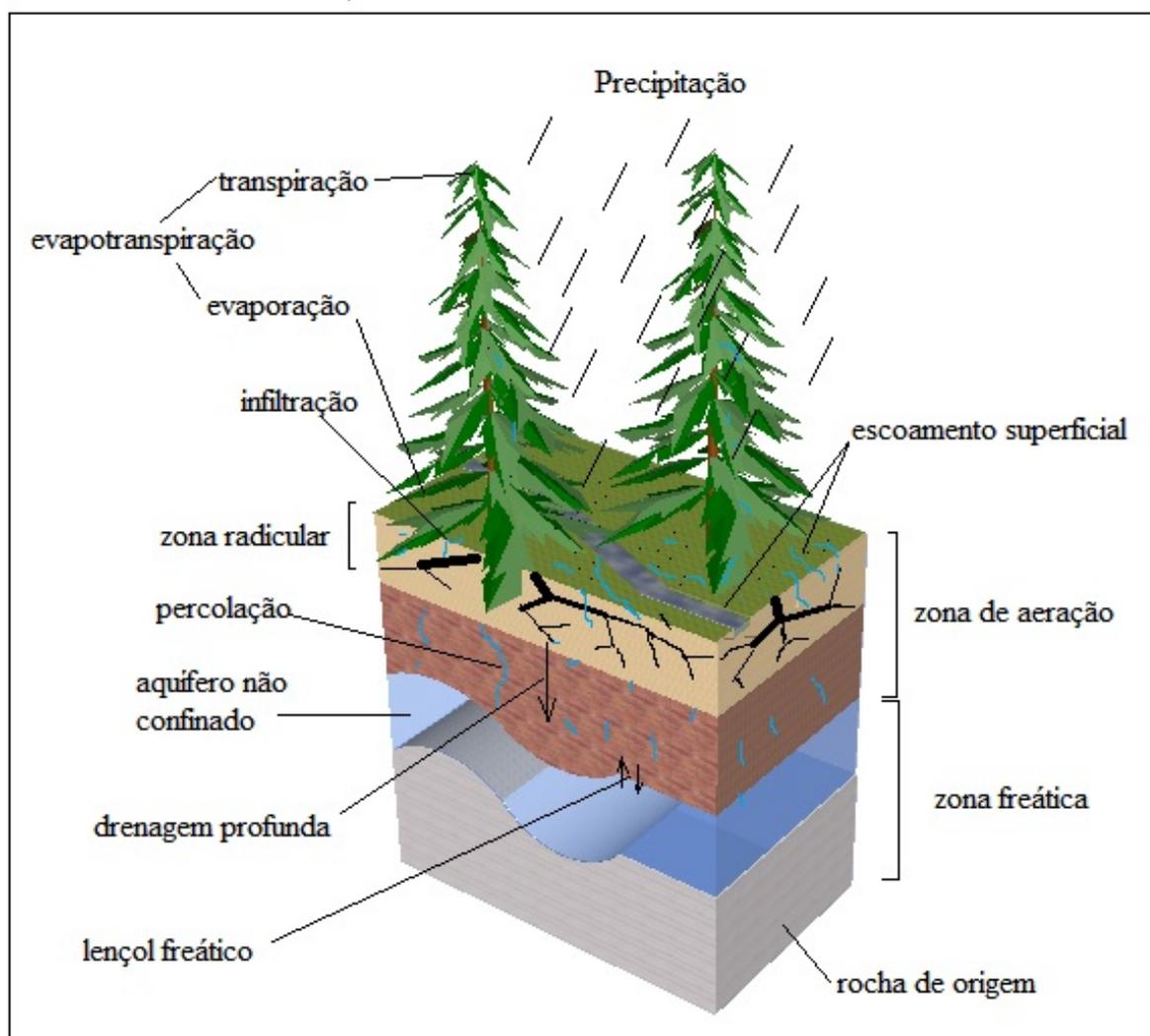
De acordo com Maidment (1993), um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do fluxo de água e seus componentes sobre alguma parte da superfície. O mesmo autor citado por Rennó e Soares (2000) comenta

que existe uma íntima relação entre a modelagem hidrológica, a biológica e a ecológica, pois, o fluxo de materiais pela água é provocado por atividades biológicas que podem aumentar ou diminuir a quantidade desses materiais na água, e o regime do fluxo de água pode afetar diversos habitats. Além disso, a hidrologia está estreitamente relacionada às condições climáticas e, portanto, modelos hidrológicos e atmosféricos deveriam estar acoplados, sendo que, na prática, um estreito acoplamento torna-se bastante dificultado, uma vez que modelos atmosféricos trabalham com resoluções espaciais muito maiores que as utilizadas na modelagem hidrológica.

Essa complexidade na delimitação espacial com os componentes atmosféricos de ecossistemas adjacentes em todas as dimensões sendo de forma livre na observação da mecânica do ambiente. São fatores que dificultam a modelagem ambiental, entretanto, tal desafio provoca, ainda mais, a engenhosidade na criação de modelos que se aproxime da realidade. Ideia corroborada por (GOODCHILD; PARKS, 1993), que afirma que os processos ambientais no mundo real são geralmente bastante complexos e são tipicamente tridimensionais e dependentes do tempo. O mesmo autor complementa afirmando que tal complexidade pode incluir comportamentos não lineares e componentes estocásticos sobre múltiplas escalas de tempo e espaço. Pode-se haver um entendimento qualitativo de um processo particular, mas o entendimento quantitativo pode ser limitado. A possibilidade de expressar os processos físicos como um conjunto de equações matemáticas detalhadas pode não existir, ou as equações podem ser muito complicadas, exigindo simplificações para seu uso.

É de comum aceitação que todo modelo é uma representação esquemática de modo a qualificar e/ou quantificar um sistema, que no que lhe concerne é composta por componentes que podem ser analisados individualmente ou em estado de interação dinâmica (CHRISTOFOLETTI, 2003; MAIDMENT, 1993; VERTESSY et al., 1993; GOODCHILD; PARKS, 1993). Isto é, para melhor entender os modelos hidrológicos, é necessário analisar os componentes envolvidos no ciclo hidrológico. A água é agente essencial no processo produtivo, aqui entendido como fixação do carbono atmosférico pelas plantas superiores. A folha de uma planta é o principal órgão responsável pela fotossíntese e é também o responsável pelo controle sobre o ciclo hidrológico através dos estômatos. Pode-se verificar uma estreita relação entre os ciclos da água e do carbono. Os principais componentes envolvidos no ciclo hidrológico são esquematizados na **Figura 1**.

Figura 1 – Diagrama dos principais componentes do ciclo hidrológico



#### 4.4 Modelos para fluxo hidrodinâmico

A ciência após o Renascimento veio a procura sempre confecções modelos e equações gerais que descrevam de forma lógica e esquemática, proveniente de uma visão cartesiana como relata Christofletti (2003): A gama e a diversidade de modelos descrevendo os fluxos hídricos nos geossistemas são muito amplas, oscilando desde a caracterização do ciclo hidrológico na escala global até os fluxos nas vertentes nos solos. Como a preocupação com os recursos hídricos permeiam todas as civilizações, não é de se estranhar que a configuração de modelos para descrever os fluxos hídricos possuam longa história (SILVA; NETTO, 2013).

Entre tantas tentativas de se ter um modelo para representar a mecânica hídrica de um sistema natural, destacou-se nesse cenário o modelo clássico do Horton (1945) que descrevia o processo de escoamento superficial na escala das vertentes foi sendo melhorados e incorporados fluxos diversos na superfície e ao regolito. Esse

modelo se caracteriza na presença do fluxo superficial e do material em suspensão, relacionando-os com os setores não erosivos, de erosão ativa e de deposição dos sedimentos (CHRISTOFOLETTI, 2003) .

Os modelos hidrológicos se baseiam no fluxo hídrico, isto é, desde a precipitação até o comportamento das águas subterrâneas, esse sistema de modelagem integrado multi-objetivo, determinístico e com bases físicas e conceituais, focalizando o balanço da água nos diversos horizontes estruturais do regolito e rochas subjacentes, em escala de tempo diário, sendo que resultados ligados com os componentes do escoamento, irrigação, demandam e abastecimento, reservatórios e opções para produção agrícola, também considera interação o estado da água no solo e a evaporação total na escala diária (COSTA, 1997).

Inumeras pesquisas são distribuídas e orientadas a eventos que prediz o comportamento da bacia hidrográfica durante e imediatamente após um evento de precipitação. Tal pesquisa é descrita como modelo distribuído sobre a erosão especificado para simular o comportamento hidrológico. Uma das características básicas desse modelo é que considera as perdas na transmissão do escoamento. E o modelo usa basicamente quatro parâmetros geográficos básicos: solo, uso da terra, declividade e eventos de precipitação. Sendo que para cada solo oito variáveis são avaliadas: porosidade total, capacidade de campo, infiltração estável, a taxa de diminuição na infiltração devida o aumento na umidade do solo, a profundidade da zona de controle de infiltração, a umidade antecedente do solo e a erodibilidade (OLIVEIRA et al., 2000).

#### **4.5 Cerrado**

As atividades econômicas e sociais realizadas pelas sociedades ocasionam mudanças na morfologia e nos processos dos sistemas ambientais. as repercussões dessas atividades incidem em modificações na superfície terrestre, se processam em ritmo variados ao longo dos tempos históricos. Os modelos exemplificativos estão relacionados com as mudanças sistemas geomorfológicos e hidrológicos e mudanças nos ecossistemas(MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2018; CUTRIM et al., 2011; MELZ; TIAGO, 2009; FELTRAN-BARBIERI, 2010; TORRES et al., 2005; SENA et al., 2013; FERREIRA; TONI, 2011).

O Cerrado é um dos focos para a conservação da biodiversidade global. Nos últimos 35 anos, mais da metade de seus 2 (dois) milhões de quilômetros quadrados originais foram cultivados com pastagens plantadas e culturas anuais. O Cerrado possui a flora mais rica entre as savanas do mundo, com alto nível de endemismo. A riqueza de espécies de aves, peixes, répteis, anfíbios e insetos também é grande, embora a

riqueza de mamíferos seja relativamente pequena (CUTRIM et al., 2011) .

As taxas de desmatamento no Cerrado têm sido historicamente maiores do que na floresta amazônica e o esforço de conservação do bioma é muito menor do que na Amazônia: apenas 2,2% da área do Cerrado é legalmente protegida. Várias espécies da fauna e flora estão em ameaçados de extinção e estima-se que 20% das espécies ameaçadas são endêmicas e não são estão em áreas legalmente protegidas. As principais ameaças à biodiversidade do Cerrado são a erosão do solo, a degradação dos diversos tipos de vegetação presentes no bioma e a invasão biológica causada por pastos (MELZ; TIAGO, 2009).

O uso de fogo serve para abrir áreas conservadas e incentivar o crescimento de pastagens, embora o Cerrado seja um ecossistema adaptado ao fogo, pesquisas sobre a hidrodinâmica do ecossistema e modelos de simulação ecológica, mostram que mudanças na cobertura vegetal alteram a hidrologia e afetam a dinâmica e as reservas de carbono no ecossistema. Em vista que a agricultura no Cerrado é rentável e sua expansão deve continuar em ritmo retilíneo e, a demanda por melhorias de infraestrutura para reduzir os custos de transporte da safra agrícola deve afetar tanto o Cerrado quanto a floresta amazônica (FELTRAN-BARBIERI, 2010).

Com à grande extensão das modificações ambientais já ocorridas e à ameaça às numerosas espécies renovou-se o interesse dos governos, das ONGs, da academia e mesmo do setor privado na busca da conservação do Cerrado, particularmente por meio do fortalecimento e ampliação do sistema de áreas protegidas e da criação de parcerias com o setor produtivo (TORRES et al., 2005).

#### 4.5.1 Cerrado Amazônico

Na América do Sul, as áreas de vegetação abertas, composta pelas províncias do Cerrado, Chaco e Caatinga, compreendem uma ampla faixa de clima sazonal com estação seca bem definida, onde há grande contraste ecológico e de composição de sua biota chamada de Diagonal de Formações Abertas ou Diagonal de Áreas Secas. Desse modo, fez-se uma análise discutindo duas linhas de raciocínio: a. cerrados ocuparam amplamente a Amazônia durante o Quaternário, deixando uma paisagem apenas com ilhas florestadas; b. Floresta estável mesmo durante um clima tão seco, de modo que o cerrado estaria distribuído apenas nas áreas marginais da região. O interesse em desenvolver este tema veio da dificuldade em entender o uso conceitual de savana e cerrado, muitas vezes tratados como sinônimos e da divergência travada quando se pretende compreender; os enclaves atuais de vegetação de cerrado na região(CUTRIM et al., 2011; MELZ; TIAGO, 2009; SENA et al., 2013; FERREIRA; TONI, 2011).

## 4.6 Uso e ocupação e Urbanização

O estudo do impacto da urbanização sobre o sistema de macrodrenagem em uma bacia hidrográfica, demanda a análise da evolução temporal do processo de uso e ocupação do solo e suas tendências. De acordo com Tucci (1997) (TUCCI, 1997) “depois que a bacia ou parte da mesma estiver ocupada, dificilmente o poder público conseguirá responsabilizar aqueles que estiverem ampliando a cheia.” Bravo, Collischonn e Tucci (2010) afirma que, “a visão de espaço neutro com referência à atuação dos diferentes agentes que interagem nos processos de uso e ocupação do solo corroboram para a elaboração de uma legislação de ordenamento territorial desconectada dos dados da realidade a qual se aplica”.

A urbanização é um processo que acarreta diversas complicações para as cidades, como as inundações, que são recorrentes nas zonas urbanas e causam danos e prejuízos à população. Como descrito por , Souza e Gohn (1999), Bravo, Collischonn e Tucci (2010) “a urbanização é um processo de desenvolvimento econômico e social resultado da transformação de uma economia rural para uma economia de serviços concentrada em áreas urbanas”. Esse acontecimento se deu de forma intensa nos países da América Latina, com destaque para o Brasil que, na maioria das médias e grandes cidades, apresentam um problema crônico, as inundações.

Esta problemática se dá ao exacerbado crescimento populacional e das alterações feitas no meio ambiente, que somados à falta de instrumentos políticos e às inadequadas obras de drenagem pluvial. Os principais fatores responsáveis pela produção de inundações urbanas são diversos, vão desde aumento gradativo do volume de sedimentos e do escoamento superficial, devido ao lançamento de sólidos nos rios, galerias e canais até a inexistência de legislações. Estas questões legais quando existem, não abordam o controle e a fiscalização quanto às ocupações indevidas do solo ou não consideram aspectos de drenagem das bacias hidrográficas (BARBIN et al., 2004; SILVA; NETTO, 2013). A urbanização tem efeitos negativos sobre os recursos hídricos; o ciclo hidrológico; as variações climáticas; as cheias naturais dos rios; nos usos e ocupações do solo e; no balanço hídrico (SOUZA et al., 2008).

### 4.6.1 Conjuntos habitacionais e áreas loteads

Historicamente, a negação do direito à habitação foi a tônica da expansão das cidades brasileiras, marcadas pela segregação social e espacial. A expressão mais notória desse processo tem sido o incremento da população residente em favelas, loteamentos irregulares e conjuntos habitacionais deteriorados, geralmente localizados na periferia urbana ou em áreas ambientalmente vulneráveis (GLOEDEN et al., 1994) .

A questão da moradia nos grandes centros urbanos assumiu grande visibilidade a partir das décadas de 1960 e 1970, quando a atuação governamental, por meio do Banco Nacional da Habitação – BNH – contribuiu decisivamente para o modelo de urbanização segregadora. A solução padronizada de financiar grandes conjuntos habitacionais em áreas distantes ou com pouca acessibilidade aos centros de emprego, comércio e serviços não logrou assegurar aos pobres o acesso à habitação digna. Assim, o problema e a crítica às suas supostas soluções atraíram cada vez mais a atenção de estudiosos do urbano e de formuladores de políticas públicas, constituindo o campo temático da habitação nas ciências sociais no Brasil (Valladares, 1983) (SILVEIRA; ROMERO, 2009).

A garantia da posse da terra e a melhoria das condições habitacionais nas favelas e nos bairros periféricos (acesso à água e ao saneamento, serviços e equipamentos públicos como creches, escolas, postos de saúde e outros) estavam na pauta de reivindicações dos movimentos sociais que adentraram a cena política na esteira do incipiente processo de “abertura” do regime militar, em fins da década de 1970. Paralelamente, outra questão passou a ocupar a agenda governamental e técnica do País: o meio ambiente, sobretudo no que diz respeito à poluição do ar, da terra e das águas pela atividade industrial (MELLO et al., 2005) .

Entretanto, a articulação entre a problemática ambiental e a questão urbana era tênue, expressando uma clivagem epistemológica: a concepção do meio ambiente como domínio da natureza e a de cidade como produto cultural, ou seja, fruto da ação humana. (SILVEIRA; ROMERO, 2009; BARROS et al., 2011; AYOUB et al., 2014; ARAUJO et al., 2013)

#### 4.6.2 Lixões

Entre os impactos ambientais negativos que podem ser originados a partir do lixo urbano produzido estão os efeitos decorrentes da prática de disposição inadequada de resíduos sólidos em fundos de vale, às margens de ruas ou cursos d’água. Essas práticas habituais podem provocar, entre outras coisas, contaminação de corpos d’água, assoreamento, enchentes, proliferação de vetores transmissores de doenças, tais como cães, gatos, ratos, baratas, moscas, vermes, entre outros. Some-se a isso a poluição visual, mau cheiro e contaminação do ambiente (FARIA et al., 2012).

A vivência cotidiana muitas vezes mascara circunstâncias visíveis, mas não perceptíveis. Mesmo contemplando casos de agressões ao ambiente, os hábitos cotidianos concorrem para que o morador urbano não reflita sobre as conseqüências de tais hábitos, mesmo quando possui informações a esse respeito. Considerando o pressuposto de que os seres humanos são essencialmente ambientais e, como tais, tendem a subjetivamente perceber o ambiente por meio de signos que engendram a

imagem ambiental (OLIVEIRA, 2016).

## **4.7 Hidrodinâmica: elementos e princípios**

### **4.7.1 Precipitação**

Do ponto de vista do hidrologista, na região tropical, as precipitações em forma de chuva, são as de maior interesse. Sua importância reside na recarga dos mananciais hídricos superficiais e subsuperficiais de onde dependem as quantidades demandadas da água para consumo humano, doméstico, industrial, animal e rural. Na ótica agrícola as precipitações são de grande importância econômica, pois dela dependem a produção das culturas não irrigadas, o dimensionamento dos sistemas de drenagem, de barragens, pontes e outras estruturas hidráulicas, o planejamento da conservação dos solos e do manejo da irrigação, etc. precipitações têm também sua importância social, pois dela, dependem, muitos pequenos agricultores, para sua sobrevivência no campo. Os grandes períodos de estiagens provocam a redução das reservas de água nos mananciais, dificultando a agricultura de subsistência, empobrecendo os pequenos agricultores ainda mais, levando-os inúmeras vezes ao êxodo rural. Em virtude da água ser o principal componente na constituição dos seres vivos, as distribuições temporal e espacial das precipitações são dois dos fatores que condicionam o clima e que estabelecem o tipo de vida de uma região (BRITTO; MENDONÇA; CATARINA, 2004; REIS; OLIVEIRA, 2016; FERNANDES et al., 2008).

### **4.7.2 Escoamento superficial**

A água, uma vez precipitada sobre o solo, pode seguir três caminhos básicos para atingir o curso d'água: o escoamento superficial, o escoamento sub-superficial (hipodérmico) e o escoamento subterrâneo, sendo as duas últimas modalidades sob velocidades mais baixas. Observa-se que o deflúvio direto abrange o escoamento superficial e grande parte do sub-superficial, visto que este último atinge o curso d'água tão rapidamente que, comumente, é difícil distingui-lo do verdadeiro escoamento superficial. O escoamento de base, constituído basicamente do escoamento subterrâneo, é o responsável pela alimentação do curso d'água durante o período de estiagem (PRUSKI; GRIEBELER; SILVA, 2001).

O escoamento superficial tem origem, fundamentalmente, nas precipitações. Ao chegar ao solo, parte da água se infiltra, parte é retirada pelas depressões do terreno e parte se escoam pela superfície. Inicialmente a água se infiltra; tão logo a intensidade da chuva exceda a capacidade de infiltração do terreno, a água é coletada pelas pequenas depressões. Quando o nível à montante se eleva e superpõe o obstáculo (ou o destrói), o fluxo se inicia, seguindo as linhas de maior declive, formando sucessivamente as

enxurradas, córregos, ribeirões, rios e reservatórios de acumulação. É, possivelmente, das fases básicas do ciclo hidrológico, a de maior importância para o engenheiro, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os efeitos causados pelo seu deslocamento (NEVES, 2016; REIS; OLIVEIRA, 2016).

#### 4.7.3 Lençol Freático

A localização do nível do lençol freático e o conhecimento da sua variação devido às precipitações e outros agentes naturais é de extrema importância para entender a distribuição e abundância de espécies. O instrumento mais simples e conhecido na área da geotécnica para o monitoramento do lençol d'água são os piezômetros, utilizados também para medir a poro-pressão e a condutividade hidráulica do solo identificar o nível do lençol freático e sua relação com os parâmetros físico-químicos (FERNANDES et al., 2008; PARIZOTTO et al., 2012; FINEZA; MARQUES; CHAGAS, 2015).

#### 4.7.4 Zona de flutuação freática (zona não saturada) e zona de saturação

Em um sistema transiente, a zona não-saturada atua como um reservatório dinâmico para água e contaminantes. O fluxo que chega ao topo do nível d'água é uma representação defasada e atenuada das condições transientes impostas à superfície. Para se avaliar a importância da zona não-saturada, esses efeitos devem ser quantificados e analisados. Se forem significativos, deve-se representar a zona não saturada no modelo da área. Caso a defasagem entre as condições da superfície e do topo do nível gradual seja considerada aceitável, pode-se utilizar um modelo saturado.(GLOEDEN et al., 1994; BERTOLO et al., 2001; ALEXANDRE et al., 1995; GODOY et al., 1999; VARNIER et al., 2007)

A água ao se infiltrar no solo, passa por uma porção do terreno chamada de zona não saturada (ZNS), onde os poros são preenchidos parcialmente por água e por ar, uma parte dessa água infiltrada no solo é absorvida pelas raízes das plantas e por outros seres vivos ou evapora e volta para a atmosfera e a outra parte, por ação da gravidade, continua em movimento descendente. Nesse percurso, nas áreas mais profundas a água acumulada forma uma zona saturada (ZS), que apresenta uma franja capilar (BERTOLO et al., 2001) .

## 5 Materiais e Métodos

Esta pesquisa parte da ideia principal de que possa existir diferenças significativas, no que se refere ao fluxo hídrico subterrâneo (direção e declividade) e superficial, das áreas originalmente classificadas como savanas no sudoeste da amazônia (cerrado amazônicos).

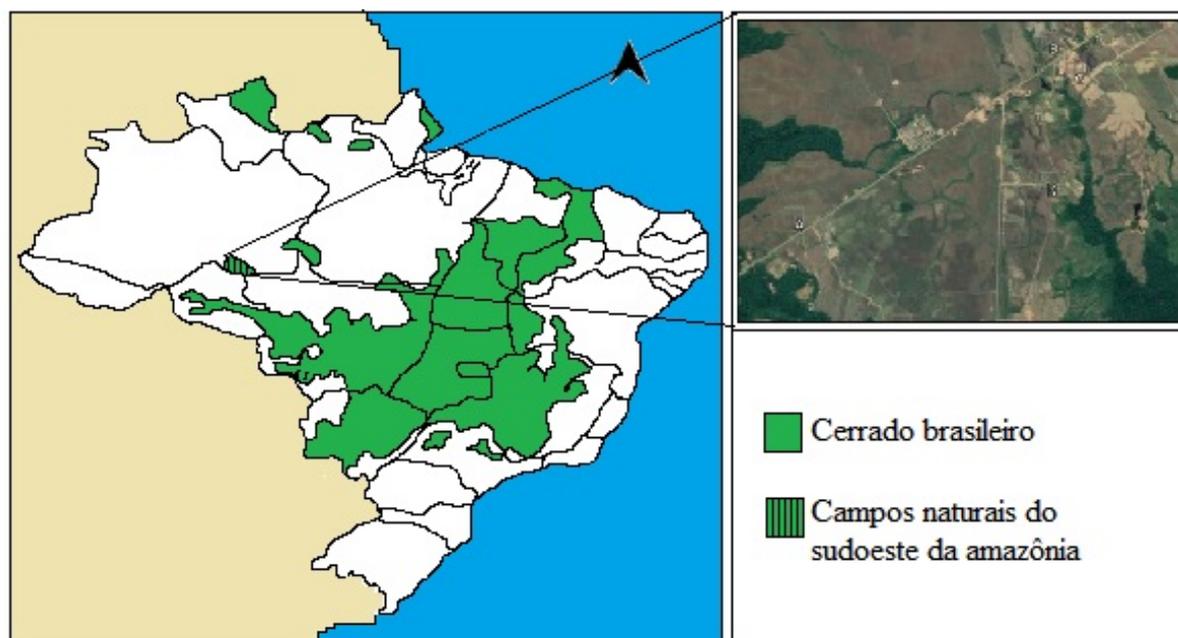
Para aceitar ou rejeitar tal princípio, quatro diferentes áreas de uso e ocupação do solo na região de cerrado, com clara intervenção de ações antrópicas foram escolhidas para a experimentação dessa pesquisa, sendo elas classificadas como áreas de baixa intervenção antrópica (**A**), moderada intervenção antrópica (**B**), alta intervenção antrópica (planejada) (**C**) e alta intervenção antrópica (não planejada) (**D**).

O método usado foi o de análises de imagens aéreas capturadas por VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) e satélite e de sobreposição de camadas topográficas e de dados piezométricos, coletadas nas áreas, vindo a gerar dados espaciais configurando no tratamento geoestatística de camadas em duas e três dimensões. E para validar o teste de hipótese foi utilizada uma estatística descritiva e análise dos modelos de sobreposição de camadas para determinar anomalias geradas pelas ações antrópicas.

### 5.1 Área de estudo

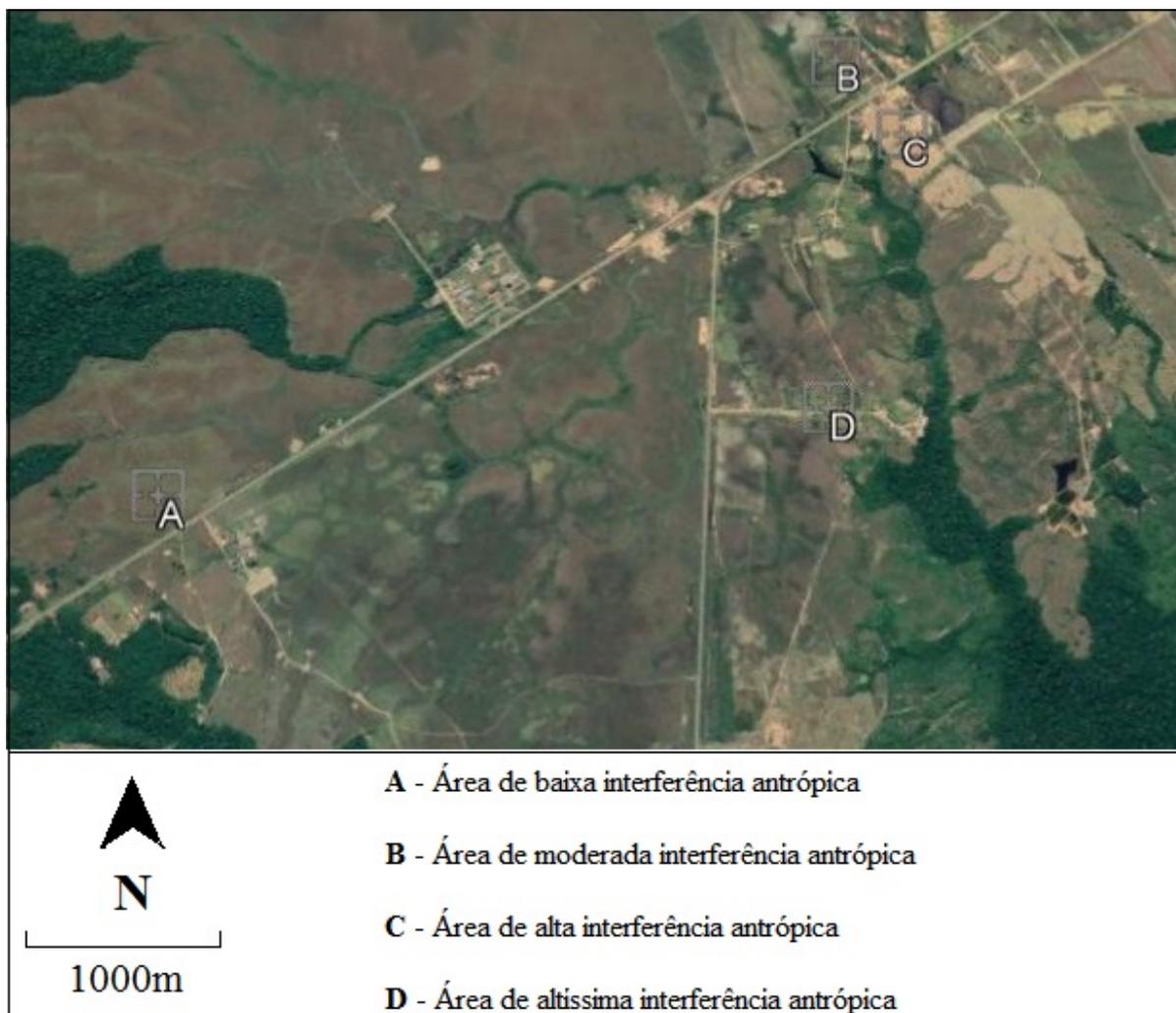
Os campos naturais amazônicos, classificado como parte do Cerrado, localiza-se a sua grande parte no município de Humaitá, situado ao sul do Amazonas, Brasil. Tendo sua posição em relação ao nível do mar de aproximadamente 56m com as coordenadas geográficas de Latitude: -7°30'22" e longitude -63° 1'38".

Figura 2 – Cerrado Brasileiro: cerrado amazônico - área de estudo



Segundo a classificação de Köppen, citado por Silva et al. (2011) o clima da região é do tipo Am (tropical úmido), caracterizado por temperatura média anual de 25°C e uma estação seca de pequena duração, entre os meses de junho a agosto. A elevada pluviosidade é um dos aspectos mais característicos da região, com valores entre 2.050 a 2.650mm por ano e elevada umidade do ar, variando entre 85 e 90%.

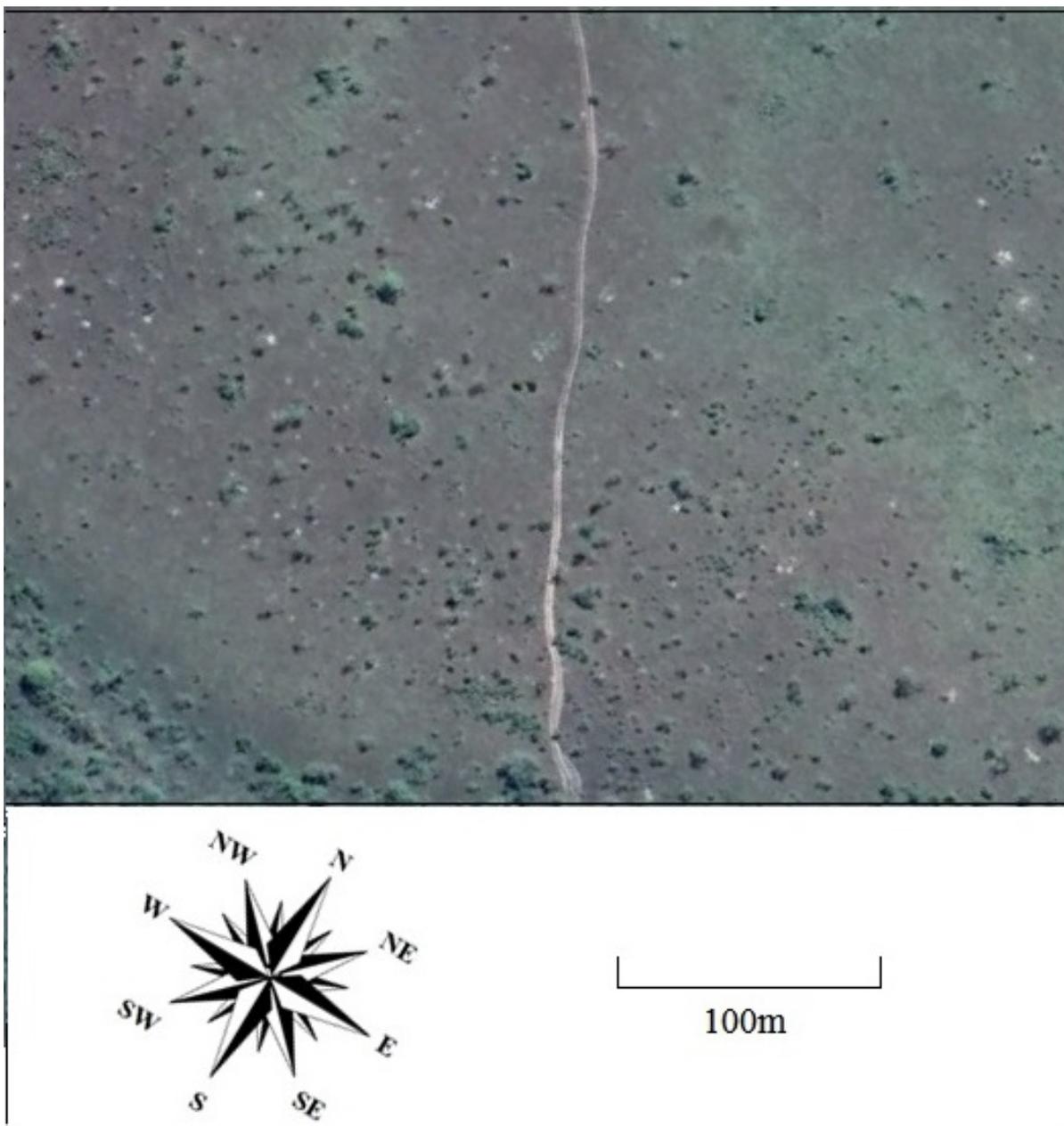
As áreas (já mencionadas outrora) dessa pesquisa estão delimitadas nos campos naturais de Humaitá, região de cerrado amazônicos, em diferentes fases de uso e ocupação antrópica da cobertura do solo, em destaque o ponto médio de suas localizações (**FIGURA 3**).

**Figura 3 – Áreas de níveis diferentes de uso e ocupação antrópica nos campos amazônicos.**

### 5.1.1 Área de baixa intervenção antrópica

A área **A** representa a de baixa intervenção antrópica, pois, é a que apresenta menos impactos diretos (**FIGURAS 4 e 5**), e está localizado em uma área de posse do Exército Brasileiro ao 54<sup>º</sup>BIS (Quinquagésimo Quarto Batalhão de Infantaria de Selva) ao lado direito das BR 319 no Km 12 de Humaitá sentido Manaus do Estado do Amazonas, Brasil (**FIGURA 3**) e tem área total de 160000m<sup>2</sup> (400mx400m). Essa área exibe uma vegetação característica das savanas amazônicas com a presença de gramíneas e árvores xerófilas. E como se trata de uma área restrita, o acesso das pessoas são dificultadas sem mediante a autorização local, fazendo com que seja uma área pouco degradada.

Figura 4 – Imagem aérea da área de baixa intervenção antrópica

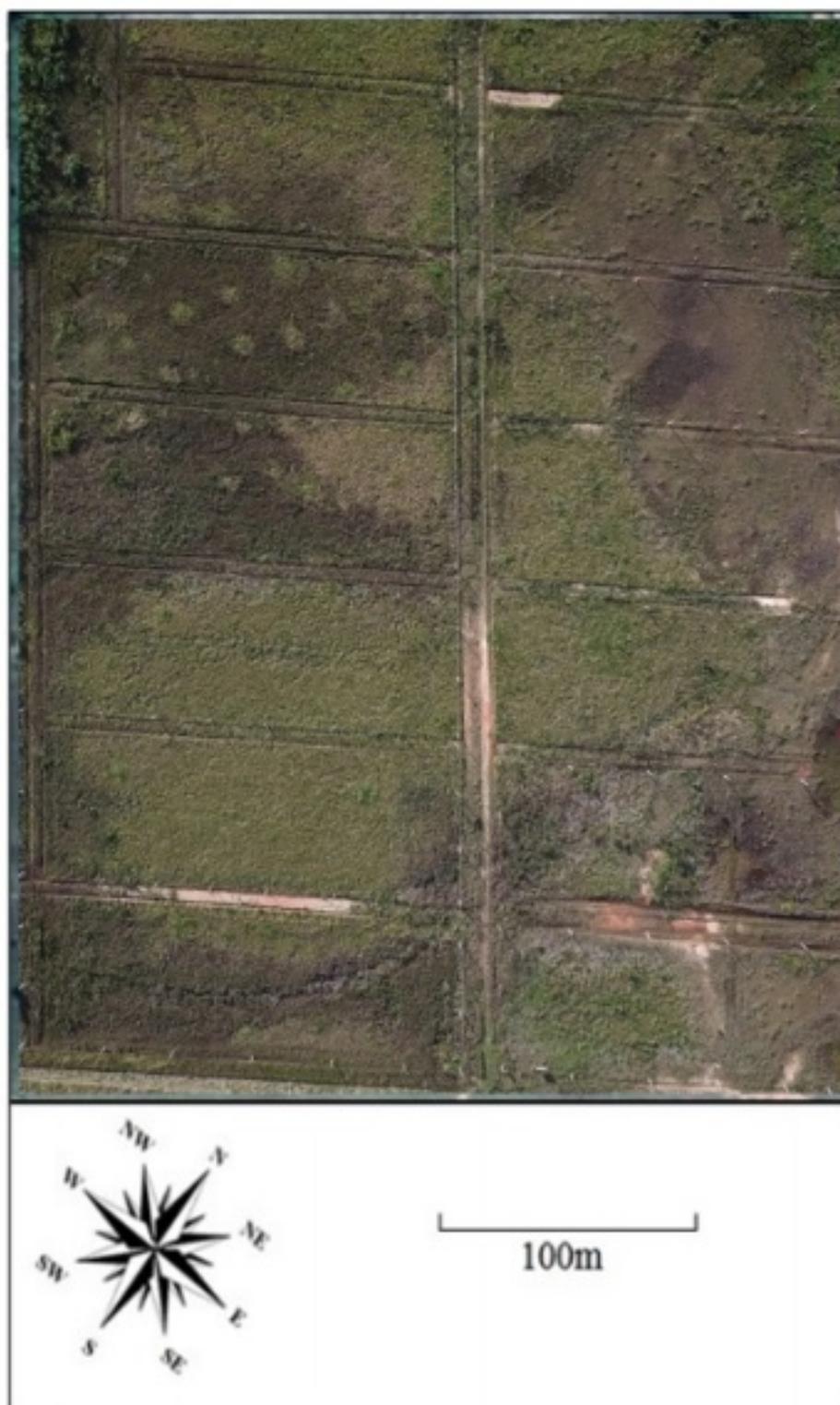


**Figura 5 – Paisagem da área de baixa intervenção antrópica - campos naturais**

### 5.1.2 Área de moderada intervenção antrópica

A área **B (FIGURA 3)** corresponde a de moderada intervenção antrópica e está localizada ao lado direito da BR-319 próximo ao aeroporto de Humaitá, onde está sendo zoneada para se configurar área residencial, entretanto, ainda não existem construções concretizadas, mas a área foi delimitada em parcelas (lotes) e existe uma manipulação na transformação do estado natural realizado pelo proprietário, como terraplenagem de vias de acesso, instalações de um simples sistema de drenagem para águas pluviométricas e postes para sistematização da rede elétrica, além de sofrer contínuas atividades de capinação. Sofre impactos indiretamente por está envolto a um aeroporto, uma rodovia federal, conjunto habitacional já instalado e área agrícola (**FIGURA 6 e 7**) e a ela tem uma área que corresponde a 187200m<sup>2</sup> (480mx390m) .

Figura 6 – Imagem aérea da área de moderada intervenção antrópica (B)



próprio autor

Figura 7 – Paisagem da área de moderada intervenção antrópica (B)



### 5.1.3 Área de moderada intervenção antrópica

A **C** é área referente à de alta intervenção antrópica (**FIGURA 8 e 9**) e está situada ao lado esquerdo da BR-319 no Km 8(oito), sentido Humaitá-Manaus, ambos do Estado do Amazonas, onde se configura, atualmente, o conjunto habitacional Rio Madeira (**FIGURA 3**). Esta área está em pleno uso e ocupação antrópica com pavimentação e toda estrutura urbanística concluída, como casas, posto de saúde, calçadas, igrejas, comércio, e foi zoneada com prévio controle e planejamento urbano. Entretanto, às áreas adjacentes são ocupadas por construções rústicas, sem acompanhamento ou controle da infraestrutura odas órgãos competente, surgindo “invasões” e áreas de volúpia. No entanto, a área total do conjunto tem aproximadamente 161600m<sup>2</sup> (320mx505m).

Figura 8 – Imagens aéreas da área de alta intervenção antrópica (C)



Figura 9 – Paisagem da área de alta intervenção antrópica (C)



#### 5.1.4 Área de altíssima intervenção antrópica (não planejada)

A **D** situa a área de altíssima intervenção antrópica é a área onde corresponde a localidade que os munícipes de Humaitá-AM despejam os resíduos de forma geral, isto é, sólidos, úmidos, entulhos, hospitalares e até mesmo carcaças de animais, de **(FIGURA 10 e 11)**, caracterizando, diante dese cenário de fatos, o atual “lixão” de Humaitá. Área se caracteriza como a de altíssima intervenção humana de caráter impactante adverso, de alteração evidente ao estado natural que totaliza uma área de 232200m<sup>2</sup> (215mx1080m).

Figura 10 – Imagem aérea da área de altíssima intervenção antrópica (D)

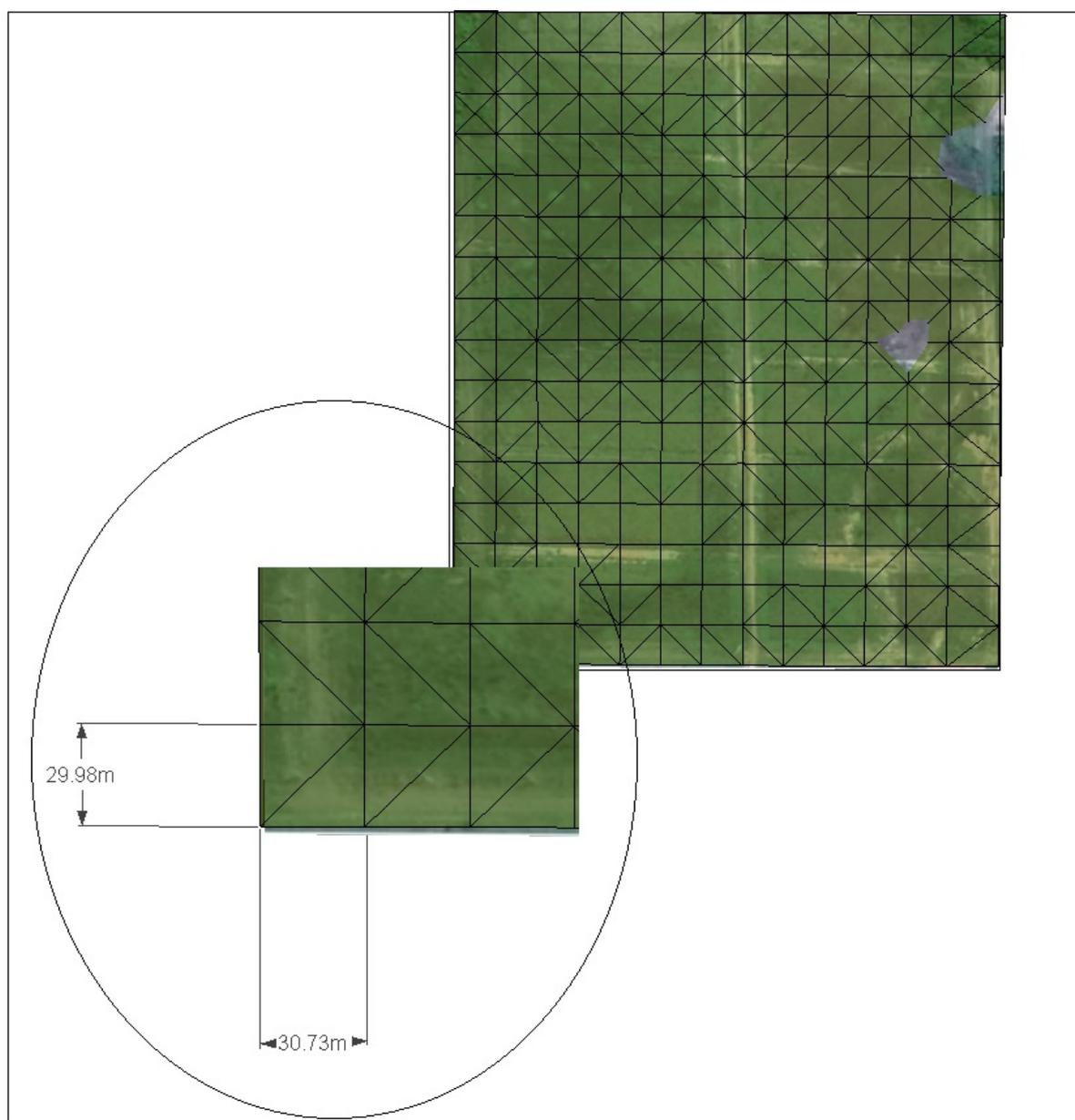


**Figura 11 – Paisagem da área de altíssima intervenção o antrópica (D)**

## 5.2 Aquisição dos dados e coletas

Os dados adquiridos nesse projeto foram à planialtimetria, precipitação, níveis estáticos, radiação, temperatura, unidade relativa e pressão atmosférica do ar. Para aquisição de dados referentes aos pontos planialtimétricos, foram realizados *in situ* levantamento com equipe de 3(três) pessoas e com a utilização de instrumentos como o teodolito eletrônico, trena, GPS, bússola e régua topográfica além dos equipamentos de EPI's, o período de levantamento foram de agosto de 2019 a novembro de 2019, usando uma malha amostral média de 30x30m **(FIGURA 12)**.

Figura 12 – Malha amostral do levantamento planialtimétrico



### 5.2.1 Dados meteorológicos

Já para aquisição dos variáveis de temperatura, precipitação, radiação, umidade relativa e pressão atmosférica, foram obtidas a partir dos dados gerados da estação automática do INMET, disponível na sua página de 'internet' (**FIGURA 13**), localizada no município de Humaitá na propriedade pertencente ao polo de ensino do Instituto Federal do Amazonas - Campus Humaitá (**FIGURA 14**), ou seja, a estação do INMET está nas adjacências das áreas de estudo, vindo a gerar confiabilidade aos dados disponíveis (**FIGURA 15 e TABELA 1**).

Figura 13 – Página do INMET

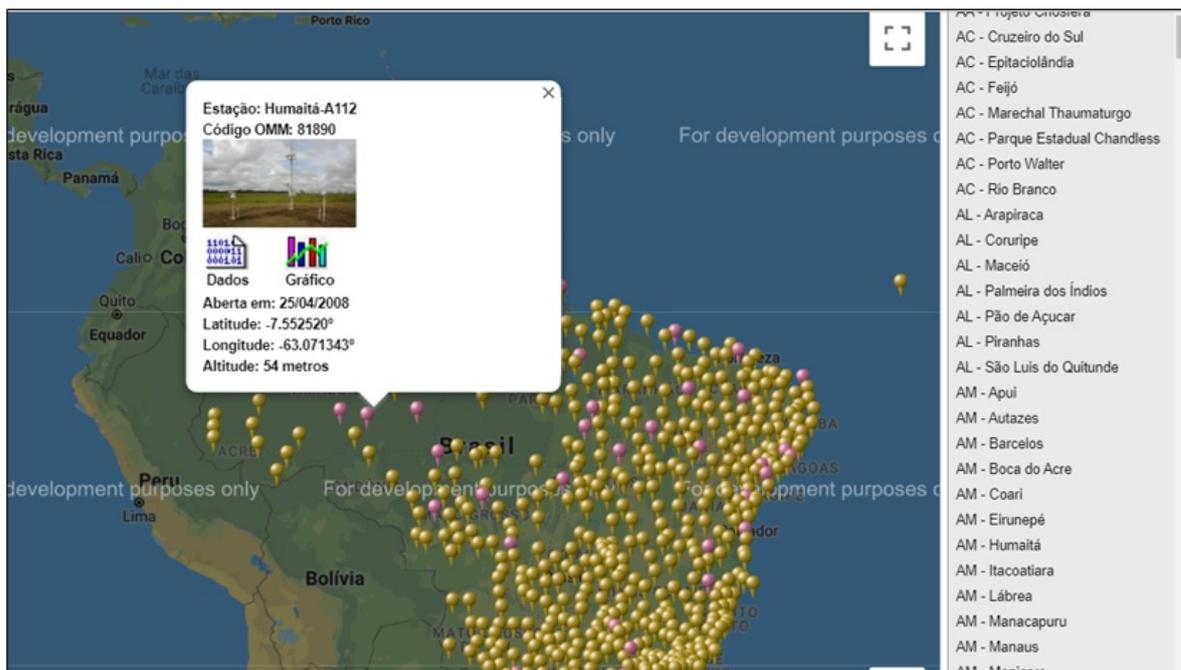
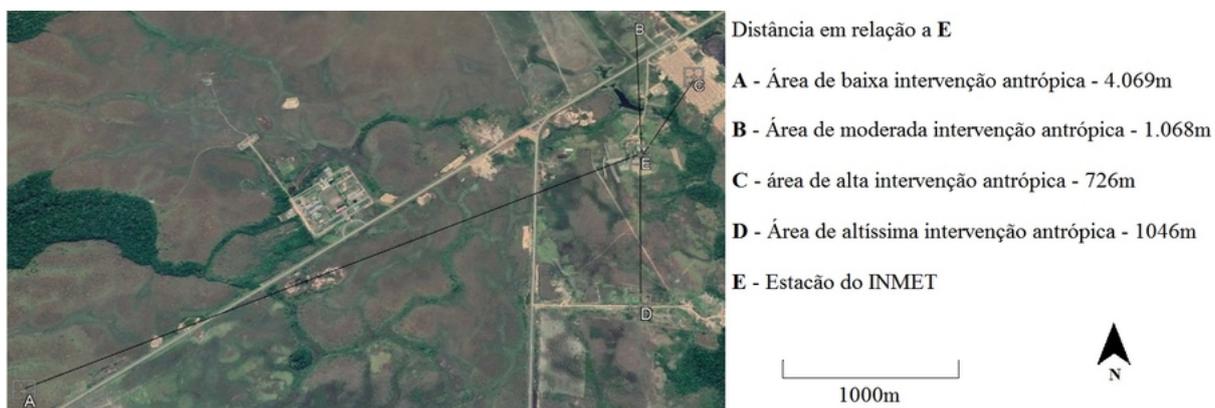


Figura 14 – Estação automática do INMET no município de Humaitá-AM



**Tabela 1 – Localidade do ponto médio das áreas de estudo e da estação meteorológica automática do INMET**

		Latitude	Longitude
A	Área de baixa interferência antrópica	— 7.567635°	— 63.105046°
B	Área de moderada interferência antrópica	— 7.342818°	— 63.071242°
C	Área de alta interferência antrópica	— 7.346975°	— 63.067814°
D	Área de Altíssima interferência antrópica	— 7.567609°	— 63.072882°
E	Estação do INMET	— 7.552520°	— 63.071343°

**Figura 15 – Localização da Estação em relação as áreas de estudo**

Os recursos necessários para a realização do projeto foram disponíveis pela Universidade Federal do Amazonas, através da parceria do Laboratório de Ictiologia de Ordenamento Pesqueiro do Vale do Rio Madeira (LIOP), que disponibilizou o recurso humano, logística de equipamentos de campo para ajuda de instalação de equipamentos e coletas de dados.

### 5.2.2 Nível estático da água no lençol freático

Para analisar os níveis estáticos do lençol freático foram confeccionados 12(doze) piezômetros (**Figura 17**), sendo instalados 3(três) em cada área, as coordenadas exatas dos piezômetros instalados e distância entre eles estão descrito conforme a **Tabela 2**. Foi usado o protocolo de instalação de piezômetros em locais com níveis freáticos pouco profundo (áreas sazonalmente encharcados) elaborado por Maria Aparecida de Freitas, Juliana Schietti (2015). Os instrumentos foram instaladas no mês de dezembro de 2018. E a primeira leitura foi realizada dia 02 de janeiro de 2019, isto é, 10 (dez) dias depois após a sua instalação. O período de

avaliação foi de 02 (dois) de janeiro a 02 (dois) de Maio de 2019, tendo um intervalo de 4 (quatro) dias, totalizando 30(trinta) leituras nesse período.

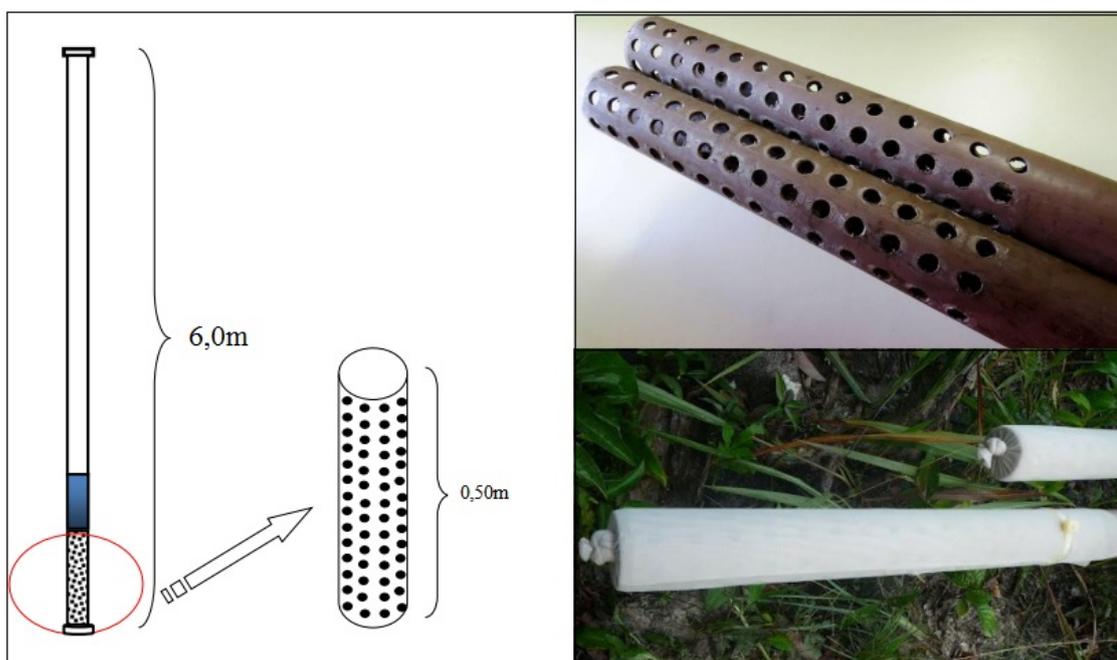
**Tabela 2 – Coordenadas dos piezômetros instalados**

Piezômetros	Latitude	Longitude	Distância (m)
A1	— 7.567308 <sup>o</sup>	— 63.102791 <sup>o</sup>	A1-A2: 200
A2	— 7.565738 <sup>o</sup>	— 63.103667 <sup>o</sup>	A2-A3: 369
A3	— 7.565951 <sup>o</sup>	— 63.106972 <sup>o</sup>	A3-A1: 499
B1	— 7.545445 <sup>o</sup>	— 63.0715118 <sup>o</sup>	B1-B2: 546
B2	— 7.540524 <sup>o</sup>	— 63.071312 <sup>o</sup>	B2-B3: 318
B3	— 7.541816 <sup>o</sup>	— 63.073827 <sup>o</sup>	B3-B1: 492
C1	— 7.545335 <sup>o</sup>	— 63.070242 <sup>o</sup>	C1-C2: 327
C2	— 7.545320 <sup>o</sup>	— 63.070242 <sup>o</sup>	C2-C3: 395
C3	— 7.548811 <sup>o</sup>	— 63.067774 <sup>o</sup>	C3-C1: 477
D1	— 7.561617 <sup>o</sup>	— 63.077526 <sup>o</sup>	D1-D2: 886
D2	— 7.562732 <sup>o</sup>	— 63.069673 <sup>o</sup>	D2-D3: 198
D3	— 7.562639 <sup>o</sup>	— 63.0678910 <sup>o</sup>	D3-D1: 1.075

Figura 16 – Coletas do nível estático nos piezômetros



Figura 17 – Esquema de um piezômetro (esquerda) e fotos da confecção filtro (direita)



### 5.2.3 Análises dos parâmetros de tipos de cobertura de solos, vegetações e uso e ocupação do nas áreas de estudo

É um dos melhores métodos para analisar essas variáveis que se modificam com as atividades antropogênicas é análises de imagens aéreas de alta resolução, por isso, essa pesquisa usou para analisar de parâmetros do tipo de cobertura de solo foram adquiridas a partir do estudo de imagens capturados pelo VANT (Veículo Aéreo não Tripulado) da marca DJI Mavic pro com as lentes do Mavic são de 28 mm, com abertura um pouco maior, de f/2.2. As duas câmeras têm faixa de ISO de 100-1600 na foto e 100-3200 no vídeo, além de velocidade do obturador de 1/8000s (**FIGURA 18**).

As imagens foram capturadas de 200 a 500m de altura ao nível do solo na coordenada do ponto médio de cada área descrita na pesquisa. Para criação do mosaico de imagens, foram utilizados métodos de segmentação de imagens que serviram para a definição do tipo de imageamento da análise posterior.

A segmentação de imagens pode ser uma classificação de pixels; o objetivo é fragmentar e ressaltar as regiões em unidades levando em consideração as características da imagem, também conhecidos como atributos espectrais, como tons de cinza, textura e contraste. A partir desta classificação, definem-se as regiões, um conjunto de pontos similares em valor de cinza e, assim, 'pixels' similares próximos à região passam a serem agrupados.

O processo de segmentação se define como uma imagem de saída em que cada objeto que apresenta uma cor definida é identificado. É uma atividade computacional complexa em que se busca encontrar objetos de cores diferentes de forma automática.

Uma imagem definida em níveis de cinza é uma imagem em que, para cada pixel, o valor da amostra é único na gama de cores, facilitando a fragmentação da imagem, a criação de regiões similares e definição das bordas dos objetos. Assim, a segmentação definirá o objeto de interesse quando este estiver caracterizado.

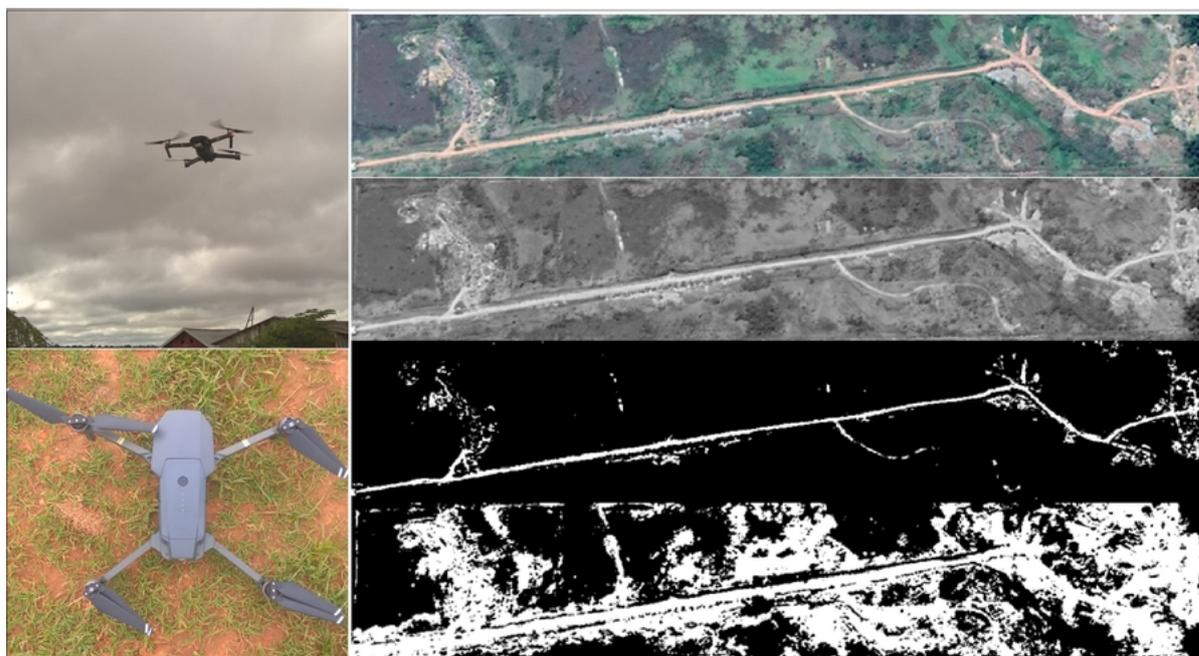
O processo de classificação de uma imagem é essencialmente empírico. É um processo de extração de informações de uma imagem para reconhecer padrões e homogeneidade em objetos. Os algoritmos de segmentação são bem específicos no processo de análise de uma imagem. Sendo assim, deve-se seguir um método padronizado de segmentação de imagem através da definição, identificação e entendimento da imagem.

Devido à dificuldade no processo de classificação, na imagem considera-se a resposta espectral do que será definido em cada região de interesse e a classe que deseja ser mapeada. As técnicas de classificação utilizadas são baseadas em similaridades ou descontinuidades. A técnica de descontinuidade é uma detecção de

partição de uma imagem baseando-se nas mudanças bruscas de intensidade luminosa no nível de cinza (FELIZARDO, 2016), por exemplo: detecção de pontos isolados, bordas ou linhas..

A visualização de um objeto é subjetiva por isso não existe uma única representação e nem mesmo uma melhor representação para um dado descritor. A extração de um descritor é a base de recuperação de informação visual. Em imagens, os descritores podem ser classificados de domínio geral ou específico. Geralmente as características são: cor, textura e forma; no específico, depende da aplicação. O objetivo é interpretar uma imagem mapeando os descritores e relacionando o conteúdo da imagem com seu significado.

**Figura 18 – VANT (esquerda) e as imagens trabalhadas em níveis de cinzas de preto e branco a 75% e 50%**



### 5.3 Método de modelagem

Para o método de modelagem foi confeccionado um mapa em 3D (tridimensional) no programa SketchUp do ano de 2017 com o objetivo de usar o método de sobreposição de camadas a partir dos dados coletados em campo, como o levantamento planialtimétrico e dados sobre a variação do lençol freático. O Modelo de sobreposição tem como componentes da sua avaliação para a modelagem de acordo com (SOUZA et al., 2016) , avaliação para dois tipos de áreas as com e sem drenagem.

Nas áreas sem drenagem se verifica a direção do escoamento por meio da topografia, definindo assim o percurso do escoamento superficial, subsuperficial e

subterrâneo. O primeiro se faz por meio de conhecimentos meteorológicos de precipitação e temperatura especializados. A área de interceptação será calculada pela declividade e volume por metros cúbicos, cuja capacidade máxima de retenção será estabelecida através do tipo de cobertura se uso e ocupação do solo (FELIZARDO, 2016).

A infiltração é determinada fazendo um balanço de água na camada superficial do solo, sendo que essa capacidade depende das características do solo, e essas características podem determinar pelo comportamento de escoamentos subsuperficial e subterrâneo.

#### 5.4 Análises do tratamento estatístico

As análises estatísticas dos dados foi feita de forma descritiva, e ilustrativa (gráficos e figuras geoespaciais), sendo utilizados softwares gratuitos, Bioestat 5.3, SketchUp 2017.

As variáveis que foram analisadas são, a precipitação acumulada, radiação acumulada, temperatura e umidade no instante da coleta e variações do nível do lençol freático, volume de água disponível. Em 5m de profundidade.

Os níveis freáticos foram descritos em relação ao nível médio do mar, com a diferença da profundidade com a cota de altitude do nível do solo. Tais dados foram desposto por meio da estatística descritiva (gráficos e tabelas) da função da nível lençol freático em relação ao nível médio do mar pelo tempo juliano (dias).

Além de gráficos, esse trabalho apresenta tabelas dos níveis estatísticos do lençol, descrevendo a área e os piezômetros referentes a posição e cota, por meio de parâmetros, de tamanho da amostra, mínimo, máximo, amplitude total, mediana, primeiro quartil (25%), terceiro quartil (75%), desvio interquartilico, média aritmética, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria (g1) e curtose(g2).

##### 5.4.1 Tamanho da amostra

As amostras foram coletadas em *in situ* e foram coletadas 30 (trinta) amostras nos 12 (doze) piezômetros no tempo amostral de 124 (cento e vinte quatro) dias, totalizando de 360 (trezentos e sessenta) amostras ao longo do projeto. Os piezômetros foram instalados de acordo com acesso e em diferentes níveis topográficos.

#### 5.4.2 Mínimo

O parâmetro mínimo (como o próprio) é o menor valor apresentado em um conjunto de dados em um tempo amostral determinado, nesse caso a sua notação é apresentada como; *Min*

#### 5.4.3 Máximo

O parâmetro máximo é (do oposto do mínimo) e o maior valor exibido em um conjunto de dados em um tempo amostral definido, nesse caso a sua notação é denotada como; *Max*

#### 5.4.4 Amplitude total

A amplitude total é a diferença dos valores de máximo e mínimo analisados em um conjunto de dados *n*, e a notação matemática é;

$$A = Max - Min \quad (5.1)$$

#### 5.4.5 Mediana

A mediana e o valor da variável que ocupa a posição central de um conjunto de *n* de dados ordenados, é *Md*

#### 5.4.6 Percentis

O percentil de ordem  **$px100$  ( $0 < p < 1$ )**, em um conjunto de dados de tamanho *n*, é o valor da variável que ocupa a posição  $px(n+1)$  do conjunto de dados ordenados. o percentil de ordem *p* (ou *p*-quartil) deixa  $px100\%$  das observações abaixo dele na amostra ordenada e os Percentis, particularmente podem ser notados pela seguintes expressões:

- Percentil 50 = Mediana, Segundo Quartil (50%) (***Md, Q2, q(0,5)***);
- Percentil 25 = Primeiro Quartil (25%) (***Q1, q(0,25)***);
- Percentil 75 = Terceiro Quartil (***Q3, q(0,75)***).

Nesse trabalho usou-se a nomenclatura de “quartis” e a notação ser de ***Q1, Q2 e Q3***.

#### 5.4.7 Desvio Interquartílico

O desvio interquartílico é nada mais do que a diferença entre o terceiro e o primeiro quartil ou seja;

$$d = Q3 - Q1 \quad (5.2)$$

#### 5.4.8 Média Aritmética (amostral)

A média é uma das medidas de posições mais usada em um tratamento de dados de conjunto  $n$ , que é nada menos que a soma de componentes multiplicado pelo invejo do total do número de componentes do conjunto analisado  $n-1$ , isto é;

$$x_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n - 1} \quad (5.3)$$

#### 5.4.9 Variância e Desvio Padrão

A variância é uma das medidas de dispersão mais importantes. É a média aritmética dos quadrados dos desvios de cada valor em relação à média: proporciona uma mensuração da dispersão dos dados em torno da média, e é expressa pela seguinte equação;

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{med})^2}{n - 1} \quad (5.4)$$

Desvio Padrão é a raiz quadrada positiva da variância, apresentando a mesma unidade dos dados e da média, permitindo avaliar melhor a dispersão, expressão dada pela equação;

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{med})^2}{n - 1}} \quad (5.5)$$

#### 5.4.10 Coeficiente de Variação

O coeficiente de variação percentual é uma medida de dispersão relativa, pois, permite comparar a dispersão de diferentes distribuições, e a expressão é apresentada como;

$$CV = \frac{S}{X_{med}} \times 100 \quad (5.6)$$

#### 5.4.11 Assimetria (g1) e Curtose (g2)

É o grau de desvio ou afastamento da simetria de uma distribuição. Quando a curva é simétrica, a média, a mediana e a moda coincidem, num mesmo ponto, de ordenada máxima, havendo um perfeito equilíbrio na distribuição, logo a assimetria pode ser descrita aritmeticamente pela equação;

$$As = \frac{Q3 + Q1 - 2X_{med}}{Q3 - Q1} \quad (5.7)$$

Distribuição assimétrica **Negativa** ou enviesada a esquerda - quando os valores se concentram na extremidade superior da escala e se distribuem gradativamente em direção à extremidade inferior.

Distribuição assimétrica **Positiva** ou enviesada a direita quando os valores se concentram na extremidade inferior da escala e se distribuem gradativamente em direção à extremidade superior.

**Curtose** - é o grau de achatamento de uma distribuição, em relação a distribuição normal. A curtose pode ser de três tipos:

- Mesocúrtica - quando a distribuição é normal;
- Leptocúrtica - quando a distribuição é mais pontiaguda que a normal;
- Platicúrtica - quando a distribuição é mais achatada que a normal.

A medida de Curtose pode ser explicitamente expressa por;

$$C = \frac{Q3 - Q1}{2(c_{90} - C_{10})} \quad (5.8)$$

- Se  $C = 0,263$  a distribuição é Mesocúrtica;
- Se  $C < 0,263$  a distribuição é Leptocúrtica;
- Se  $C > 0,263$  a distribuição é Platicúrtica.

## 6 Resultados e Discussão

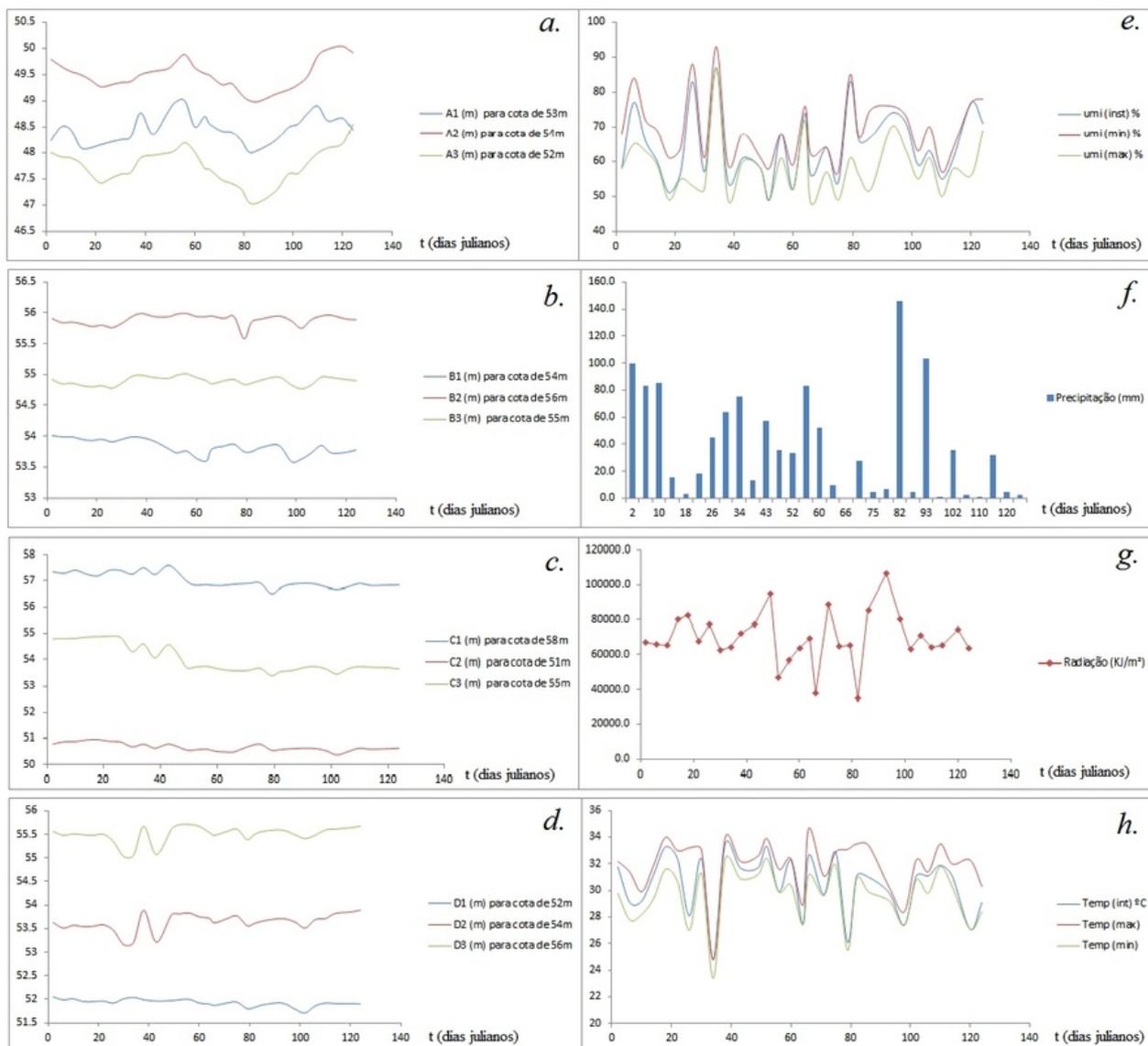
### 6.1 Análise da estatística descritiva dos níveis estáticos do lençol freático e as variáveis meteorológicas

#### 6.1.1 Resultado gráfico dos níveis do lençol freático

A representação da **Figura 19** mostra a flutuação dos níveis do lençol freático nas áreas de baixa, moderada, alta e altíssima interferência antrópica em metros (m), para cotas em referência ao nível médio ao mar: **a** - flutuação dos níveis estáticos nas áreas de baixa interferência antrópica; **b** - flutuação dos níveis estáticos nas áreas de moderada interferência antropogênica; **c** - flutuação dos níveis estáticos nas áreas de alta interferência antropogênica; **d** - flutuação dos níveis estáticos nas áreas de altíssima interferência antropogênica; **e** - a flutuação da umidade relativa referente ao dia das coletas a variação do instante, máxima e mínima; **f** - apresenta a precipitação acumulada em um intervalo dos dias de coletas; **g** - a radiação acumulada no intervalo nos dias de coleta de dados em campo e; **h** - e descrição da temperatura nos dias das coletas nos instantes, máximos e mínimos.

Os gráficos da **Figura 19 a, b, c e d** mostra a flutuação dos piezômetros por área de interferência antrópica, sendo que **a** configura-se área controle (baixa intervenção antrópica) é apresenta em seu **A2** a menor cota do nível estático e, ao decorrer do tempo amostral, teve para **A3** os maiores valores de cotas, resultando que o fluxo subterrâneo tende a ir de **A2** para **A1** e **A3** e, **A1** para **A3** ( $A2 > A3 > A1$ ). Para **b** a cota do piezômetro **B2** mostrou as maiores cotas e o **B1** exibiu os menores ( $B2 > B3 > B1$ ). E **c** as cotas de **C1** são as maiores da área e **C2** os menores ( $C1 > C3 > C2$ ). Já para **d** a cota de **C3** são as maiores e a **C1** as menores ( $C3 > C2 > C1$ ). Os gráficos (direita: dados meteorológicos) **e** e **f** apresentam proporcionalidade direta e ambos são inversamente proporcionais a **g**, e **h** mostra independência em relação aos demais.

**Figura 19 – Representação Gráficas do comportamento das águas subterrâneas em relação as variáveis meteorológicas**



### 6.1.2 Resultado da estatística descritiva da flutuação do nível estático do lençol freático

O conjunto de tabelas (**3, 4, 5 e 6**) exibe a estatística descritiva do nível estático do lençol freático, nas diferentes áreas de uso e ocupação do solo no cerrado amazônico. Todos apresentam o mesmo número de amostra de 30 para cada área.

Os parâmetros da estatística descritiva de máximas e mínimos, os da A (área de baixa interferência antrópica) se diferenciam das demais, pois, apresentam os menores valores para estes parâmetros (**TABELA 3**). Em contrapartida, a área B (área de moderada interferência antrópica) que exibe mais elevados valores para os parâmetros de máximo e mínimo, entretanto não possui o maior valor, pois, este é atribuído a área

**C** (área de alta interferência antrópica), que no piezômetro **C1** possui o valor de cota de 57,60m na cota da superfície de 58m. Para o parâmetro de amplitude a **A** apresenta os maiores valores em torno de 0,99m a 1,50m e a área **B** as menores amplitude com uma variação de 0,24m a 0,42m.

Para a análise dos quartis segue a lógica dos valores máximo e mínimos, já que apresentam os meus protagonistas, isto é, a área **A** está relacionada aos menores valores de cota do nível estático e para a área **B** os maiores valores. Particularmente os piezômetros **A2** e **C1**, exibem o maior e menor quartis. Diante dessa análise dentre quartis, quando se analisa os seus desvios as áreas **B** e **D** apresenta os menores valores (0,20m; 0,10m; 0,11m) e (0,09m; 0,21m; 0,13m), respectivamente. Para os elevados valores de desvio interquartilico, destaca-se o piezômetro **C3** que conotado o valor de 0,93m, definindo ser o maior desvio interquartilico entro o conjunto de dados avaliados.

Para análise de dispersão em torno da média, os parâmetros variância e desvio padrão estão destacados como menores para a área **B** e maiores valores para a área **A** e **B**. Os Coeficiente de Variação (CV) apresentaram valores baixos, alegando que na análise a variação apresenta pouca flutuação em sua distribuição, ou seja, os valores apresentados foram de 0,01.

Na forma da distribuição dos dados são analisadas pelos parâmetros de assimetria( $g_1$ ) e curtose( $g_2$ ), nesse conjunto de dados foi determinado dois tipos de formas de dados de dispersão o tipo Leptocúrtica e Platicúrtica, cujo, apenas o piezômetro **B2(m)** e **D3(m)**, apresentaram do tipo Platicúrtica com assimetria, em ambas, voltada para a esquerda (negativa). As demais foram determinadas como Leptocúrticas, sendo que A1(m), A2(m), C1(m), C32m), C3(m) exibem uma assimetria a direita, e os demais definidas como Leptocúrticas a esquerda, que são os A3(m), B1(m), B3(m), D1(m) e D2(m).

**Tabela 3 – Estatística descritiva do nível do lençol freático em área de baixa interferência antrópica**

A1 (m) para cota de 53m	A2(m) para cota de 54m	A3(m) para cota de 52m
-------------------------	------------------------	------------------------

	A1 (m) para cota de 53m	A2(m) para cota de 54m	A3(m) para cota de 52m
Tamanho da amostra	30	30	30
Mínimo	48,01	48,99	47,05
Máximo	49,00	50,04	48,55
Amplitude	0,99	1,05	1,50
Mediana	48,45	49,50	47,75
Primeiro Quartil 25%	48,23	49,31	47,52
Terceiro Quartil (75%)	48,66	49,65	47,99
Desvio interquartilico	0,43	0,34	0,47
Média Aritmética	48,46	49,49	47,74
Variância	0,06	0,08	0,12
Desvio Padrão	0,28	0,28	0,35
CV	0,01	0,01	0,01
Assimetria(g1)	0,28	0,17	-0,07
Curtose(g2)	-0,78	-0,59	-0,01

**Tabela 4 – Estatística descritiva do nível estático do lençol freático para área de moderada interferência antrópica**

	B1(m) para cota de 54m	B2(m) para cota de 56m	B3(m) para cota de 55m
Tamanho da amostra	30	30	30

---

	B1(m) para cota de 54m	B2(m) para cota de 56m	B3(m) para cota de 55m
Mínimo	53,59	55,58	54,77
Máximo	54,01	55,99	55,01
Amplitude	0,42	0,41	0,24
Mediana	53,83	55,91	54,90
Primeiro Quartil	53,74	55,84	54,84
Terceiro Quartil	53,95	55,94	54,95
Desvio Interquartílico	0,20	0,10	0,11
Média Aritmética	53,83	55,88	54,89
Variância	0,02	0,01	0,00
Desvio Padrão	0,12	0,09	0,07
Coeficiente de Variação	0,00	0,00	0,00
Assimetria (g1)	-0,25	-1,58	-0,11
Curtose (g2)	-0,93	3,53	-1,00

---

**Tabela 5 – Estatística descritiva do nível estático do lençol freático para área de alta a interferência antrópica**

---

	C1(m) para cota de 58m	C2(m) para cota de 51m	C3(m) para cota de 55m
Tamanho da amostra	30	30	30

---

---

	C1(m) para cota de 58m	C2(m) para cota de 51m	C3(m) para cota de 55m
Mínimo	56.51	50.38	53.40
Máximo	57.60	50.97	54.90
Amplitude	1.09	0.59	1.50
Mediana	56.90	50.64	53.73
Primeiro Quartil (25%)	56.83	50.57	53.66
Terceiro Quartil (75%)	57.25	50.80	54.59
Desvio Interquartilico	0.42	0.23	0.93
Média Aritmética	57.02	50.68	54.03
Variância	0.08	0.02	0.29
Desvio Padrão	0.28	0.16	0.53
Coefficiente de Variação	0.01	0.00	0.01
Assimetria (g1)	0.50	0.38	0.73
Curtose (g2)	-0.88	-0.81	-1.28

---

**Tabela 6 – Estatística descritiva do nível estático do lençol freático para área de altíssima a interferência antrópica**

---

	D1(m) para cota de 52m	D2(m) para cota de 54m	D3(m) para cota de 56m
Tamanho da amostra	30	30	30
Mínimo	51,71	53,16	55,03
Máximo	52,05	53,89	55,71

---

---

	D1(m) para cota de 52m	D2(m) para cota de 54m	D3(m) para cota de 56m
Amplitude	0,34	0,73	0,68
Mediana	51,92	53,66	55,53
Primeiro Quartil (25%)	51,90	53,55	55,48
Terceiro Quartil (75%)	51,99	53,77	55,61
Desvio Interquartilico	0,09	0,21	0,13
Média Aritmética	51,93	53,63	55,50
Variância	0,01	0,04	0,03
Desvio Padrão	0,08	0,19	0,19
Coefficiente de Variação	0,00	0,00	0,00
Assimetria (g1)	-0,85	-1,04	-1,58
Curtose 9g2)	1,12	0,97	2,28

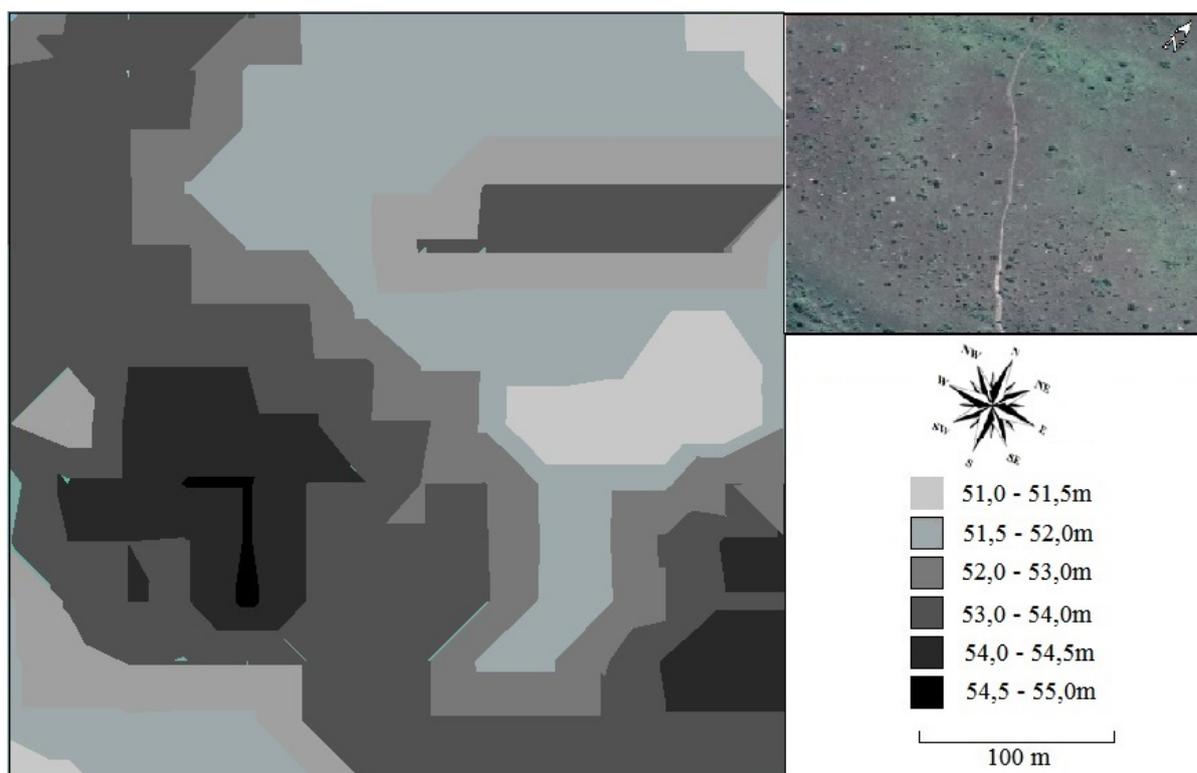
---

## 6.2 Análise da descrição quantitativa e espacial de fluxo hídrico e simulações nas áreas de intensidade interferência antrópica

### 6.2.1 Área de baixa intervenção antrópica

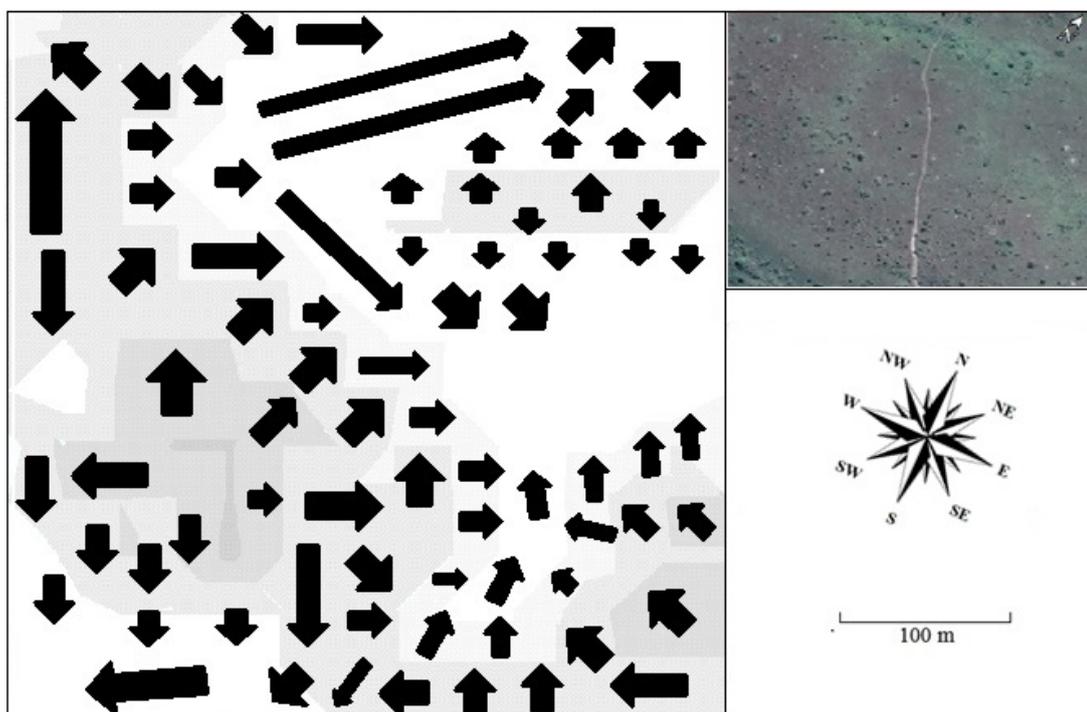
A área **A** (área de baixa intervenção antrópica) apresenta em seu mapa de elevações altimétricas cotas que variam de 51,0m a 55,0m. As regiões com cotas de maiores valores de elevação do terreno estão em uma faixa que se estende de leste (E) a oeste (W) (extremidade inferior direita a extremidade superior esquerda) e as depressões estão dispostas na zona de centro-norte (N) (centro a extremidade superior direita) ao extremo sul (orientado na figura - extremidade esquerda inferior) (**FIGURA 20**).

Figura 20 – Planialtimetria da área de baixa intervenção antrópica



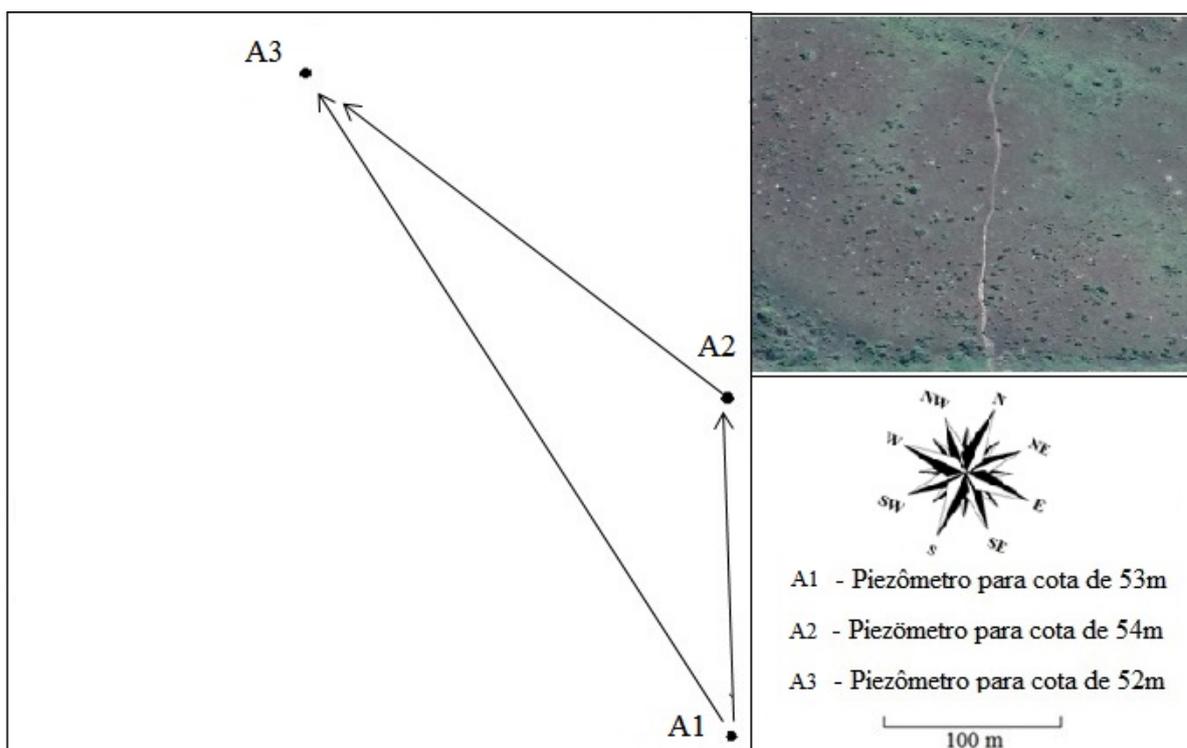
O fluxo de escoamento superficial na área **A**, exibe fluxo que acompanha a declividade do terreno, pois, a água, em seu estado líquido, se movimenta em sentido ao centro da terra por força da gravidade, isto é, das cotas de maior elevação para as cotas de menor elevação. O terreno apresenta maior declividade na posição do centro-sul em direção ao norte (centro inferior esquerdo a a extremidade superior direita - na figura). O fluxo apresenta uma região de depressão com estabilidade que se localiza a região nordeste (NE) (centro direto – na figura), em linhas gerais o fluxo de maior volume se dá para direção norte (N) (extremidade superior direito) (**FIGURA 21**).

Figura 21 – Fluxo de escoamento subterrâneo na área de baixa intervenção antrópica



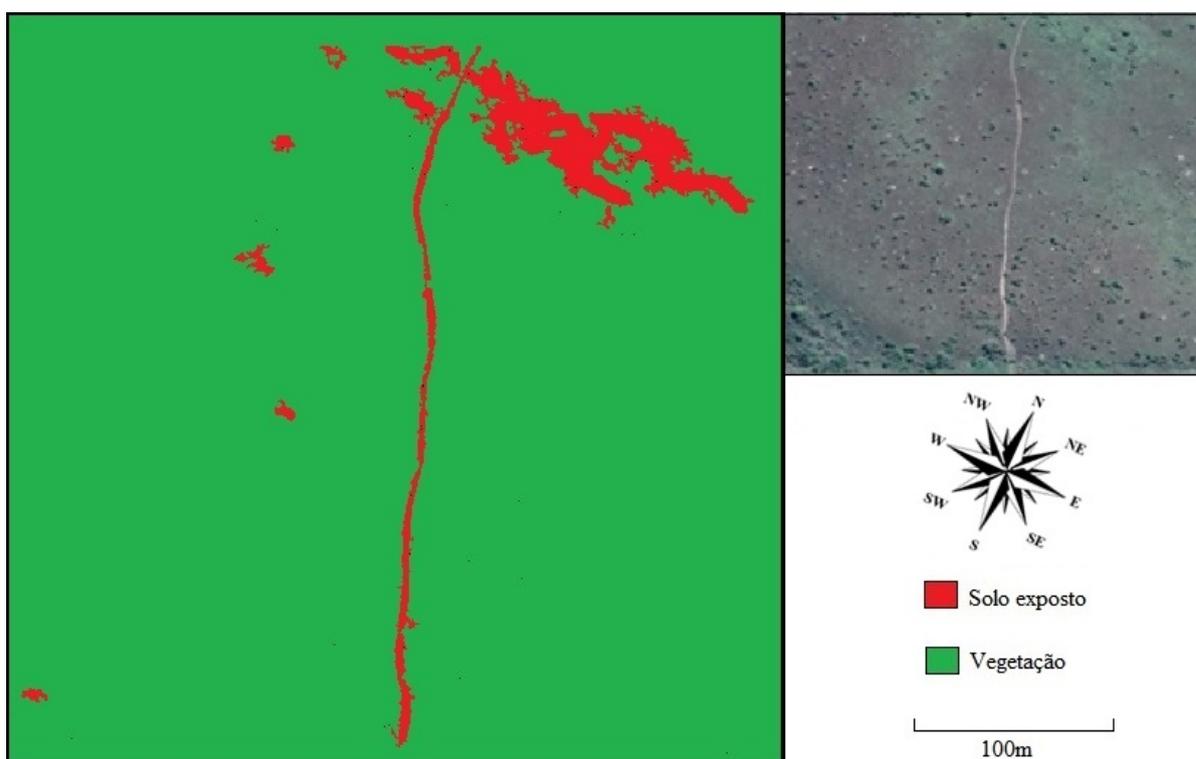
O fluxo subterrâneo da área A demonstra que A2 tem a cota maior em comparação A1, que no que lhe concerne é maior que A3. Nesse cenário o fluxo subterrâneo segue um fluxo de sudeste (SE) para noroeste e norte (NW e N, respectivamente), (centro inferior direito para centro superior direito) (**FIGURA 22**).

Figura 22 – Fluxo subterrâneo em área de baixa intervenção antrópica

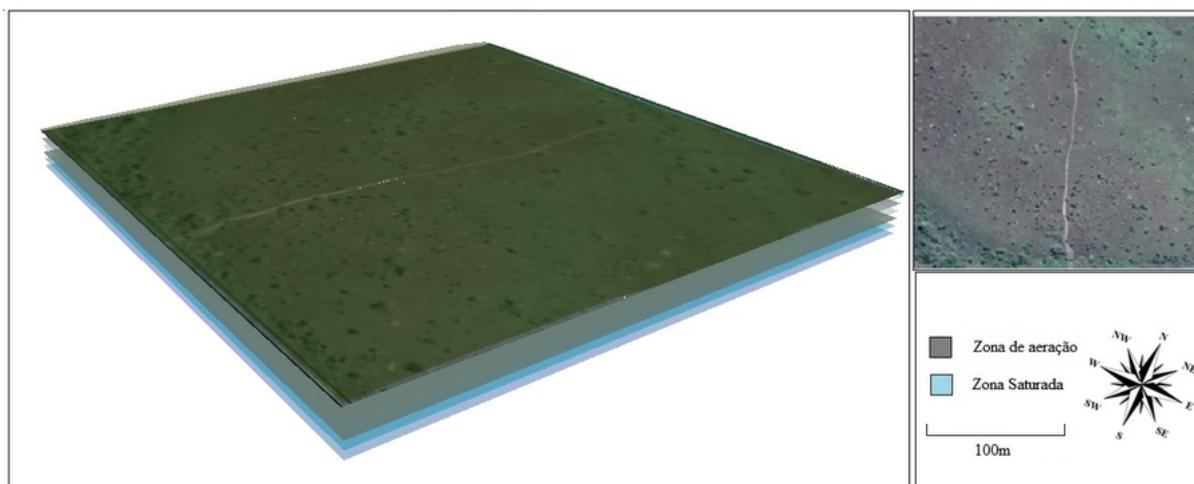


O uso e ocupação do solo na área **A** apresenta 95% de solo coberto por uma vegetação típica dos campos amazônicos, a área de baixa intervenção antrópica apresenta o solo exposto na sua área central, pois, nessa região se caracteriza uma via de acesso de solo compactado. E na região norte (extremidade superior direito), uma faixa extensa de solo exposto é identificada, tal área é uma via de fluxo de escoamento superficial, todavia, ela é a que recebe maior vazão de escoamento característico (**FIGURA 23**)

**Figura 23 – Uso e ocupação do solo em área de baixa intervenção antrópica.**



O modelo 3D da área **A**, tem como objetivo demonstrar as possíveis faixas de inundação, através da compilação e sobreposição de camadas da malha topográfica, uso ocupação do solo e camada de do lençol freático, entretanto, a área **A** não apresenta áreas de inundação significativa, possivelmente por apresentar uma condição topográfica regularmente natural, de ter um lençol freático de maior profundidade em relação aos demais (**FIGURA 24**).

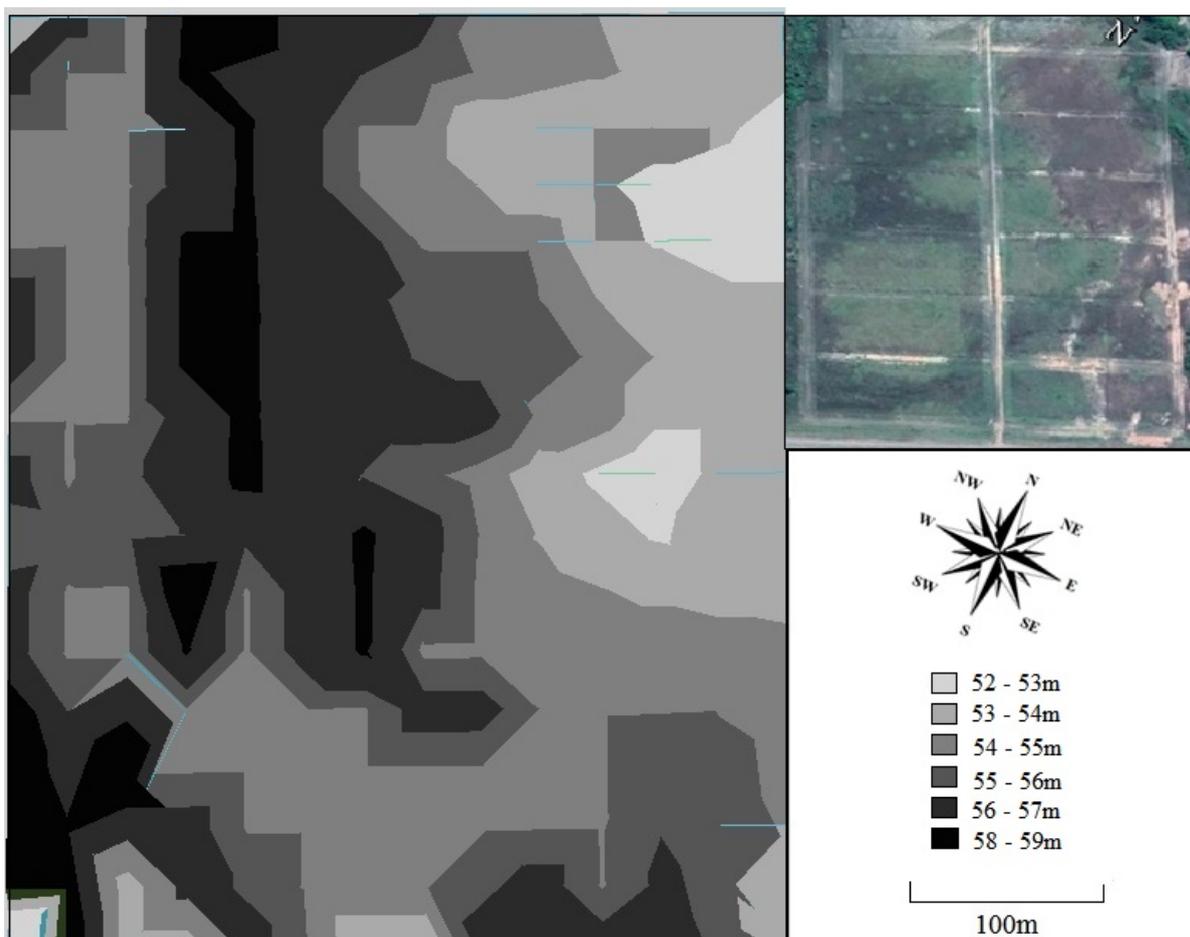
Figura 24 – Modelo 3D de área para inundação simulada para **A**

Os mapas de escoamento superficial e de elevação da área **C** (FIGURAS 21 e 20) apresentam uma região de estabilidade fluxo superficial (poças temporárias – áreas encharcadas), tais áreas podem ser caracterizadas como regiões potenciais aos surgimentos de criadouros de insetos, répteis e anfíbios, tornando-se um ‘hotspot’ para a endemia biológica. Vindo a contribuir para a diversidade biologia e florística do ecossistema. Contudo, essa área específica, por está em meio a uma vegetação e o solo característico do cerrado conservado e, de não ter sua cota máxima do lençol freático interceptado pela superfície topográfica. Estas áreas potenciais a estabilidade do fluxo horizontal das águas superficiais, são alimentadas por, apenas, águas livres, sendo regiões encharcadas com alta umidade, e não se configurando pontos de poças temporárias, ou seja, tais caracterizações são corroboradas por definições citadas por Melz E Tiago, (2009) e Cutrim et al., (2011).

### 6.2.2 Área de moderada intervenção antrópica

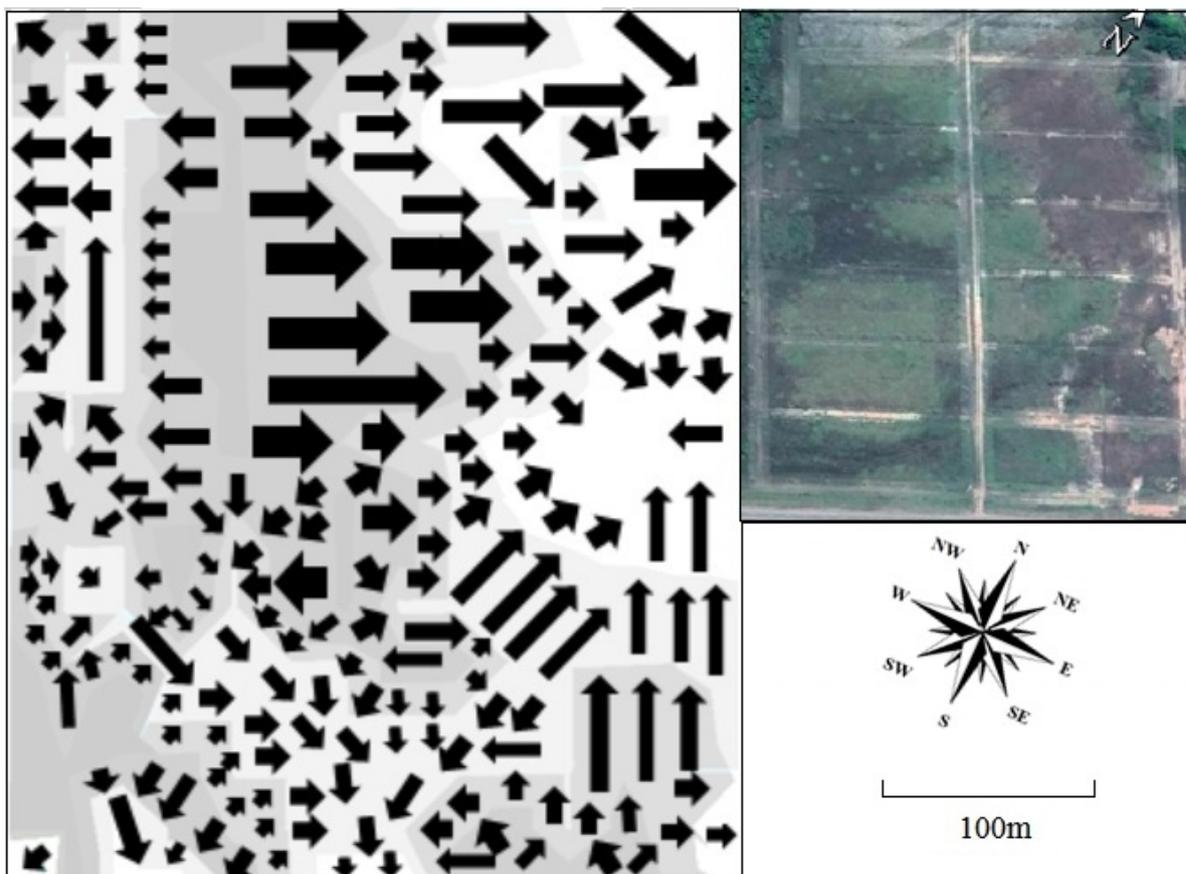
O mapa de elevação da área **B** apresenta uma variação de cotas de 53 a 59m de altitude, isto é, maior amplitude de cota de elevação em relação a área **A**. A região de maior elevação se encontra no sentido noroeste (NW) (faixa de centro direita para a centro superior direita). Altimetria apresenta dois pontos de depressões estáveis de fluxo superficial horizontal, um inteiramente inserido em meio a área de estudo e, outro está em parte (faixa de cor para cota de 53m – 54m). O que está inteiramente na área **A**. A topografia apresenta a maior declividade na região sudoeste para nordeste (SW e NE, respectivamente), que se localiza em uma faixa que inicia no centro superior esquerdo (59m) para centro superior direito na **Figura 25**.

Figura 25 – Planialtimetria da área de moderada intervenção antrópica



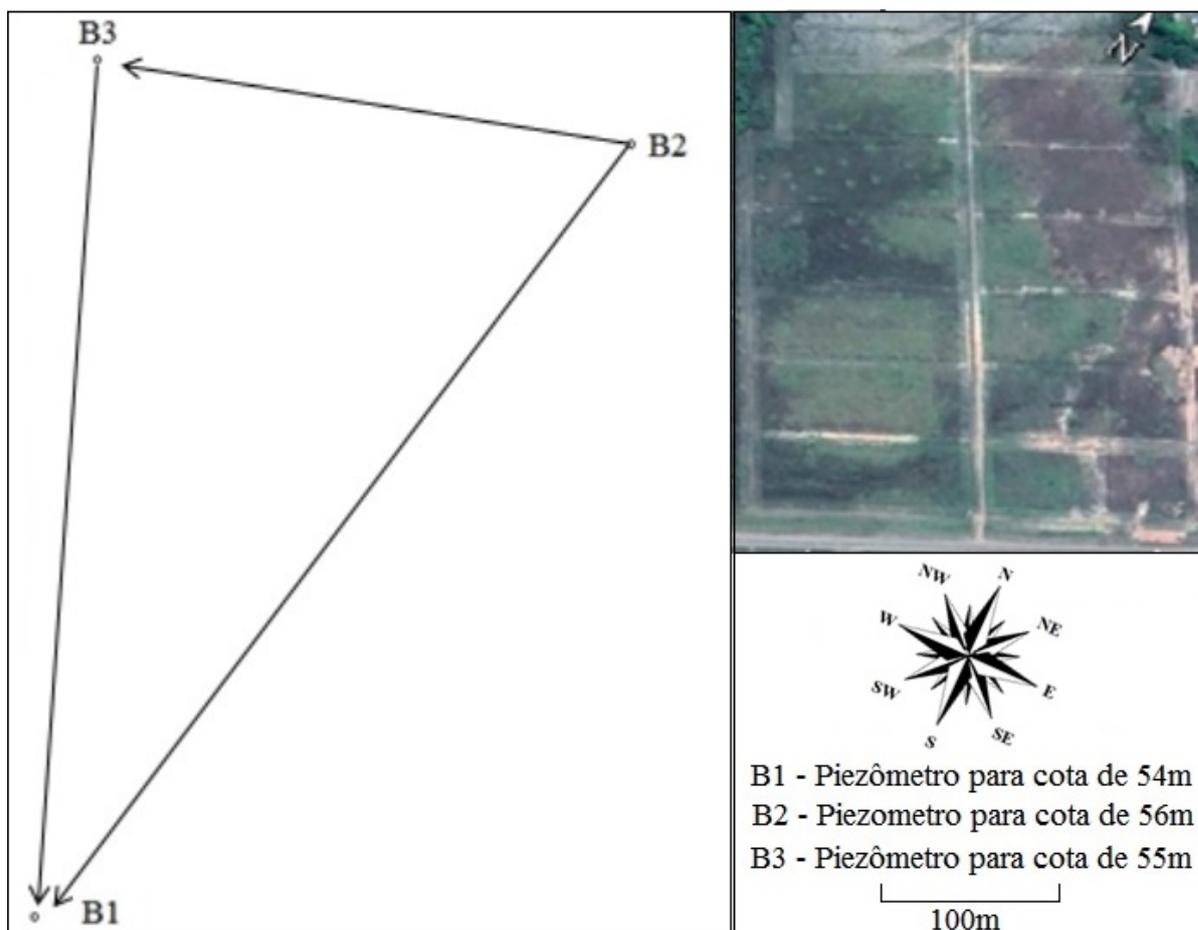
O fluxo de escoamento superficial na área de moderada intervenção antrópica apresenta complexidade, seu sentido se direciona com as linhas de curvas topografias da área. Entretanto, com uma distribuição difusa do escoamento, gerando maiores regiões de especificidades, tendo 8 (oito) pontos de saída das águas superficiais para ambientes adjacentes (**FIGURA 26**).

Figura 26 – Fluxo de escoamento superficial na área de moderada intervenção antrópica



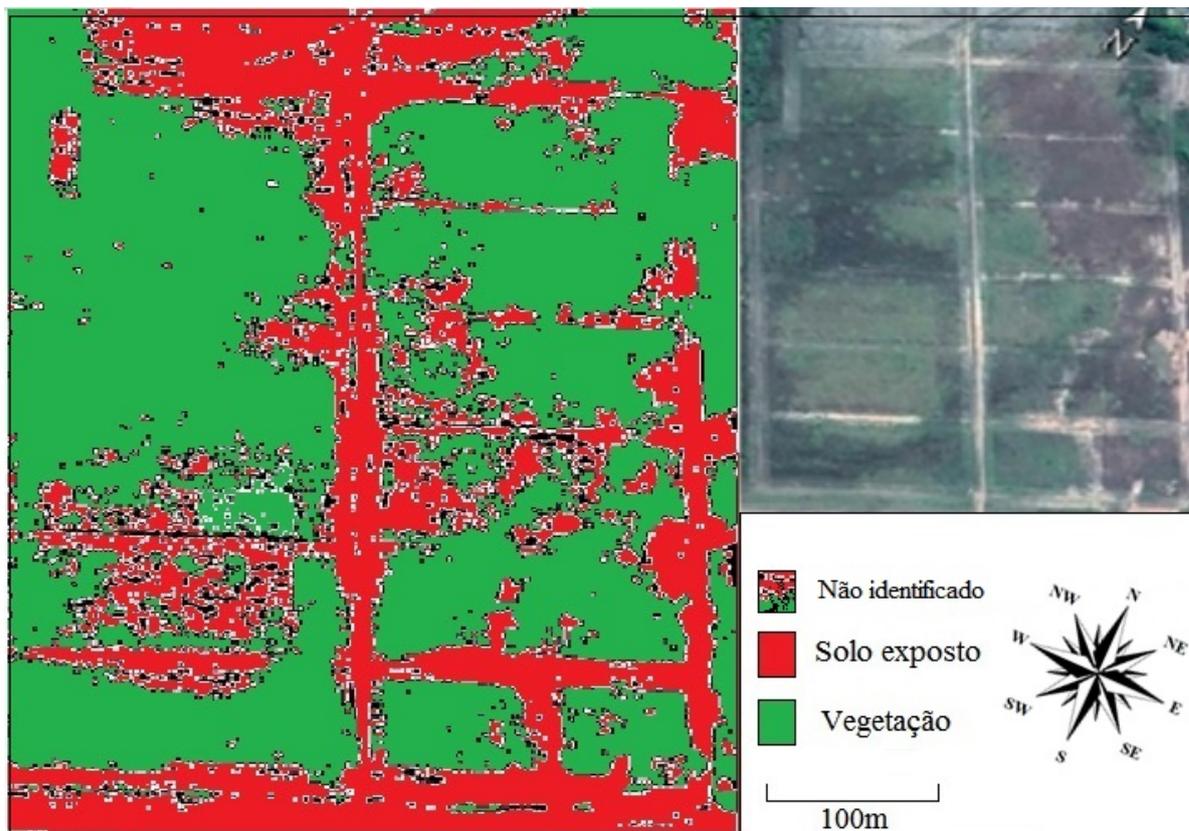
O fluxo subterrâneo baseado nas cotas do nível estático a água na área moderada segue a cota da superfície, isto é, *B2* flui para *B3* e *B1* (extremidade superior esquerda para extremidades inferiores e superior direita) que, por conseguinte, o *B3* e se desloca em direção a *B1*, sendo que o último se caracteriza como ponto da região que recebe maior descarga hídrica (**FIGURA 27**).

Figura 27 – Fluxo subterrâneo em área de moderada intervenção antrópica



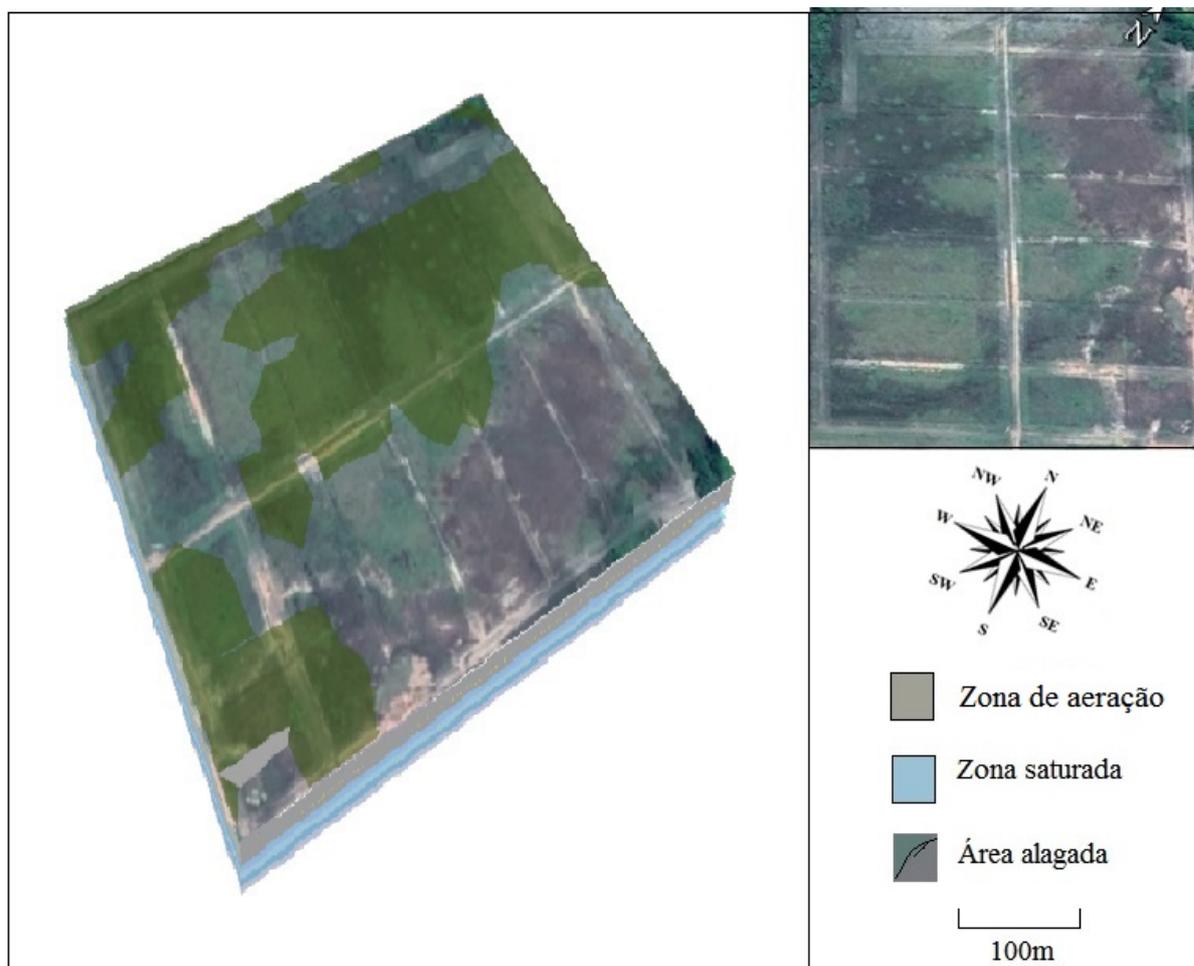
O uso e ocupação do solo para a área **B** apresenta de solo exposto entorno de 35% da área evidentemente alterada por atividades antrópicas. A área apresenta vias de acesso aos lotes, já delimitados, com uma vegetação rasteira. É solo de empréstimo para a escavação das linhas de implantação da rede pluvial do futuro conjunto habitacional (**FIGURA 28**).

Figura 28 – Uso e ocupação do solo em área de moderada intervenção antrópica



O modelo 3D da área **B**, após a compilação e a sobreposição da cota de flutuação do lençol freático e o uso e ocupação do solo, exibe as áreas de potencial alagamento na área, cobrindo a região centro-direita a extremidade superior esquerda tendo uma conexão por uma via de drenagem pela região centro-inferior (**FIGURA 29**).

Figura 29 – Modelo 3D de área para inundação simulada B

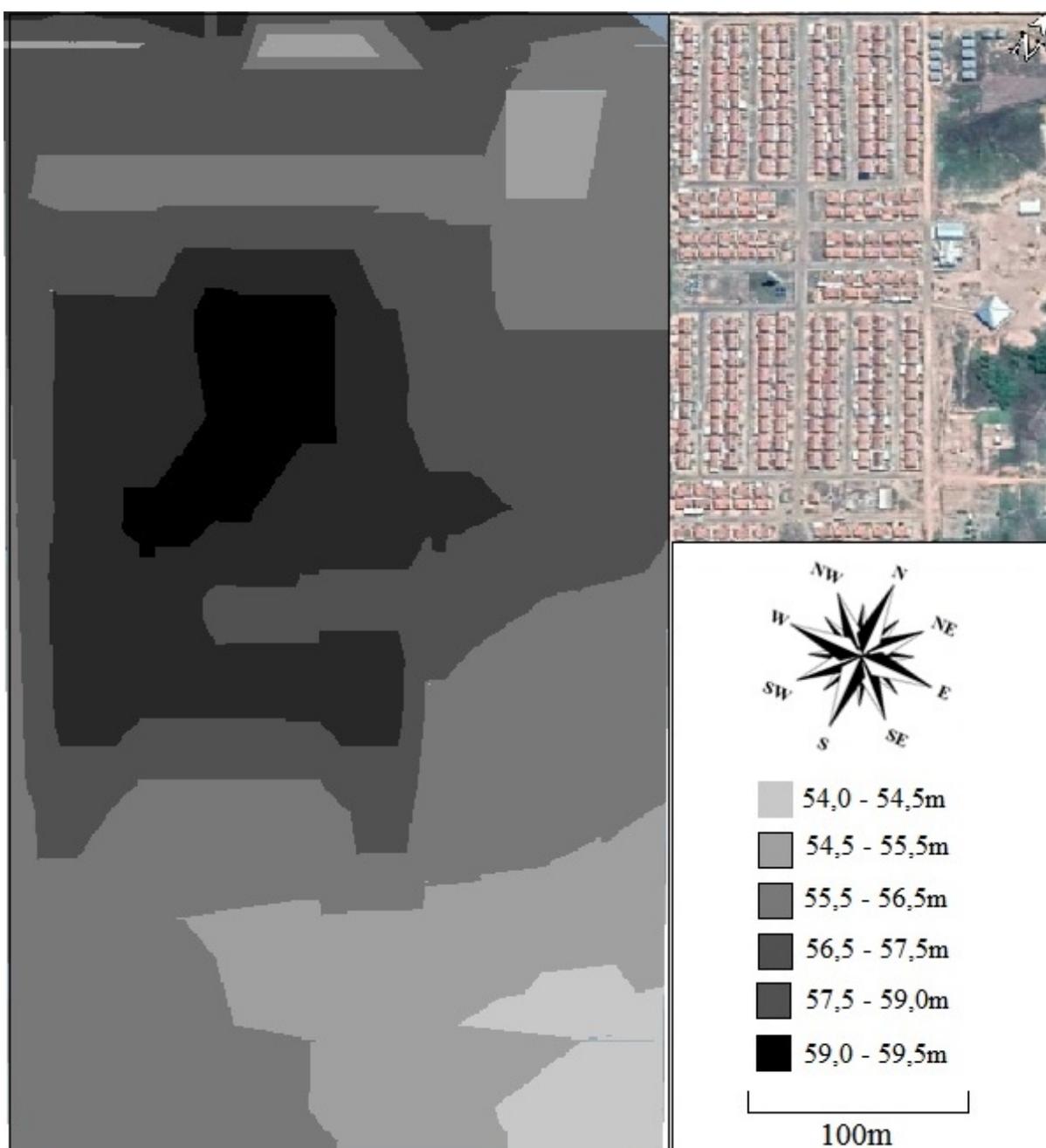


A análise da sobreposição dos mapas para a área de moderada intervenção antrópica, exibe, na área delimitada ao estudo, pelo fluxo de escoamento de águas livres superficiais, poucas regiões de estabilidade de escoamento superficial (poças temporais ou região de acúmulo de água empoçada). Entretanto, a flutuação das cotas do nível estático do lençol freático estão próximos a superfície e, quando combinadas, a compactação dos solos argilosos inseridos na terraplenagem e a retirada vegetação natural, faz com que tais ações resultem na existência de regiões de acúmulo de águas - poças temporais - de alta turbidez, rica em ferro e sólidos suspensos de pH ácido, que são alimentadas durante os períodos chuvosos. Portanto, sendo criadores de organismos mais resistentes, que precisam de um tempo de evolução menor que outros seres, como vetores e microorganismos que estão vinculadas a doenças, esses resultados estão em acordo com estudos realizados por Vasconcelos, Miguez e Vazquez (2016).

### 6.2.3 Área de alta intervenção antrópica (planejada)

A planialtimetria da área **C** apresenta formas geométricas definidas como quadrados e retângulos em suas curvas de níveis, caracterizando atividades de terraplenagem, aterros e canais de drenagens. As amplitudes dos níveis de elevação variam de 54 a 59m, tendo a sua faixa de maior elevação na região central ao noroeste (NW) (extremidade superior). As depressões estão na região do extremo norte (N) e sudeste (SE) (extremo superior direito e inferior direito) (**FIGURA 30**).

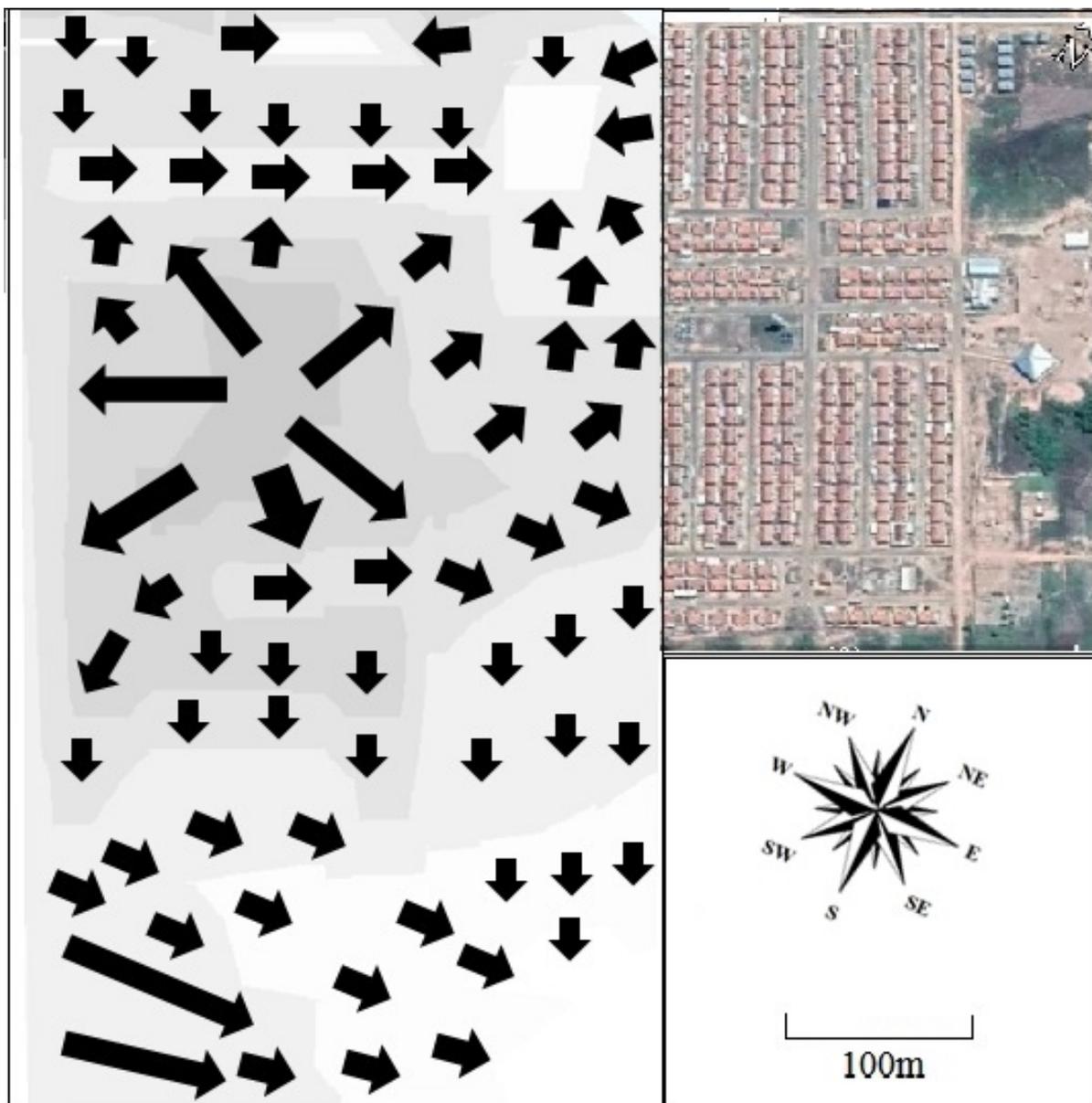
**Figura 30 – Planialtimetria da área de alta intervenção antrópica**



O fluxo de escoamento superficial na área **C**, segue as curvas de níveis

com direções bem definidas e, até mesmo, direcionada de forma evidentemente controlada. Contudo, o maior fluxo se dá no sentido de direção leste (E) (centrodireita para a esquerda), e nessa mesma região tem as menores cotas de elevações, o fluxo se concentra em direção sul (S) e sudeste (SW) (região direita inferior) (**FIGURA 31**)

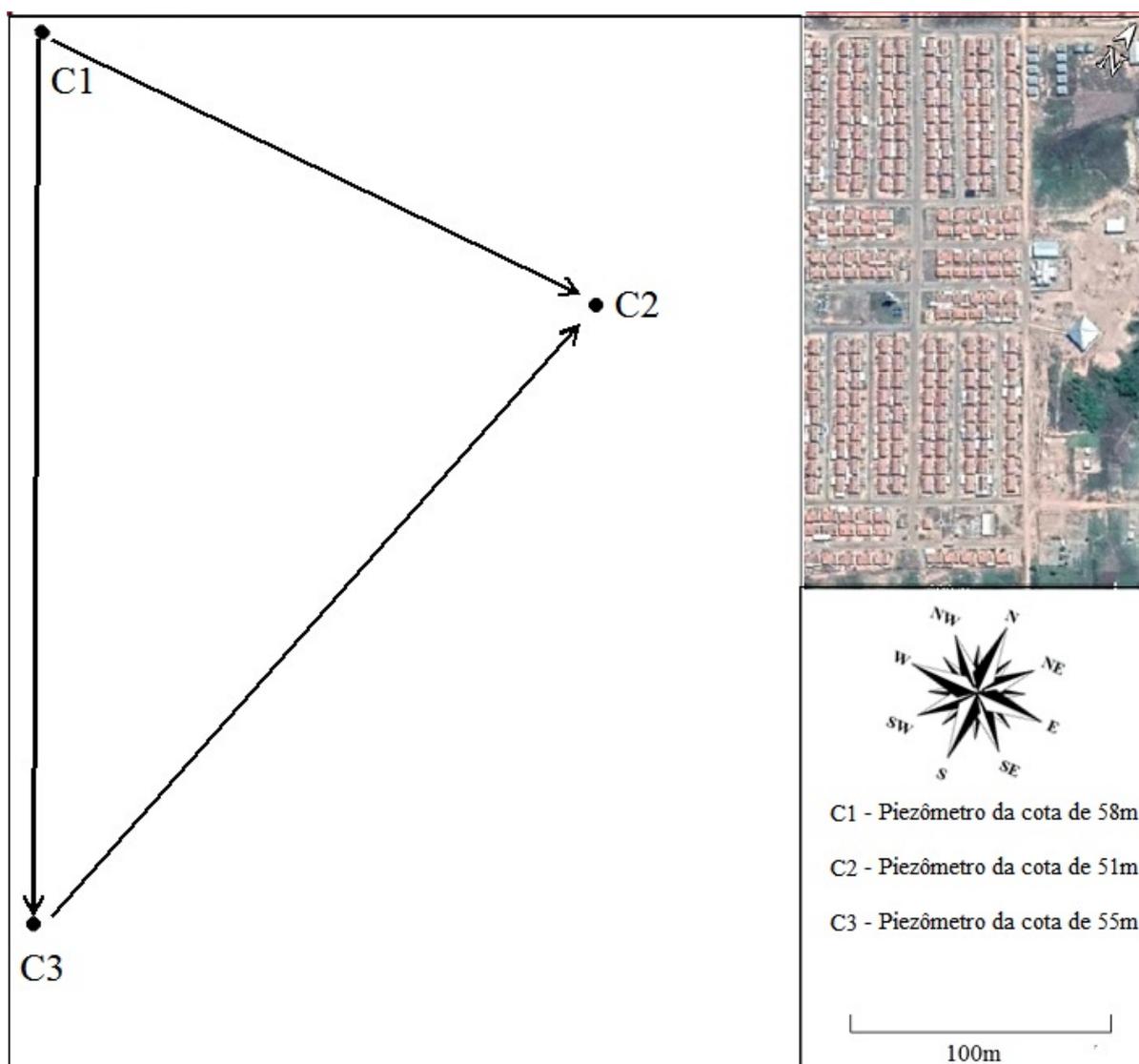
**Figura 31 – Fluxo de escoamento superficial na área de alta intervenção antrópica**



O fluxo subterrâneo em área de alta intervenção antrópica apresenta um fluxo de direita para esquerda da parte superior para o inferior. Nota-se que a área onde se localiza o conjunto habitacional direciona as águas subterrâneas para área de drenagem, não pertencente a área do conjunto habitacional. O uso e ocupação do solo na área C, apresenta 90% de área impermeável, 2% de área pouco permeável e 8% de área permeável. O solo exposto fora do perímetro de área construída é dado por aterros aos arredores, realizados pela iniciativas das igrejas e dos comércios, isto é,

realização de atividades que dão suporte a cidadania e a coletividade aos moradores do conjunto habitacional (**FIGURA 32**)

**Figura 32 – Fluxo subterrâneo em área de alta intervenção antrópica (planejada)**



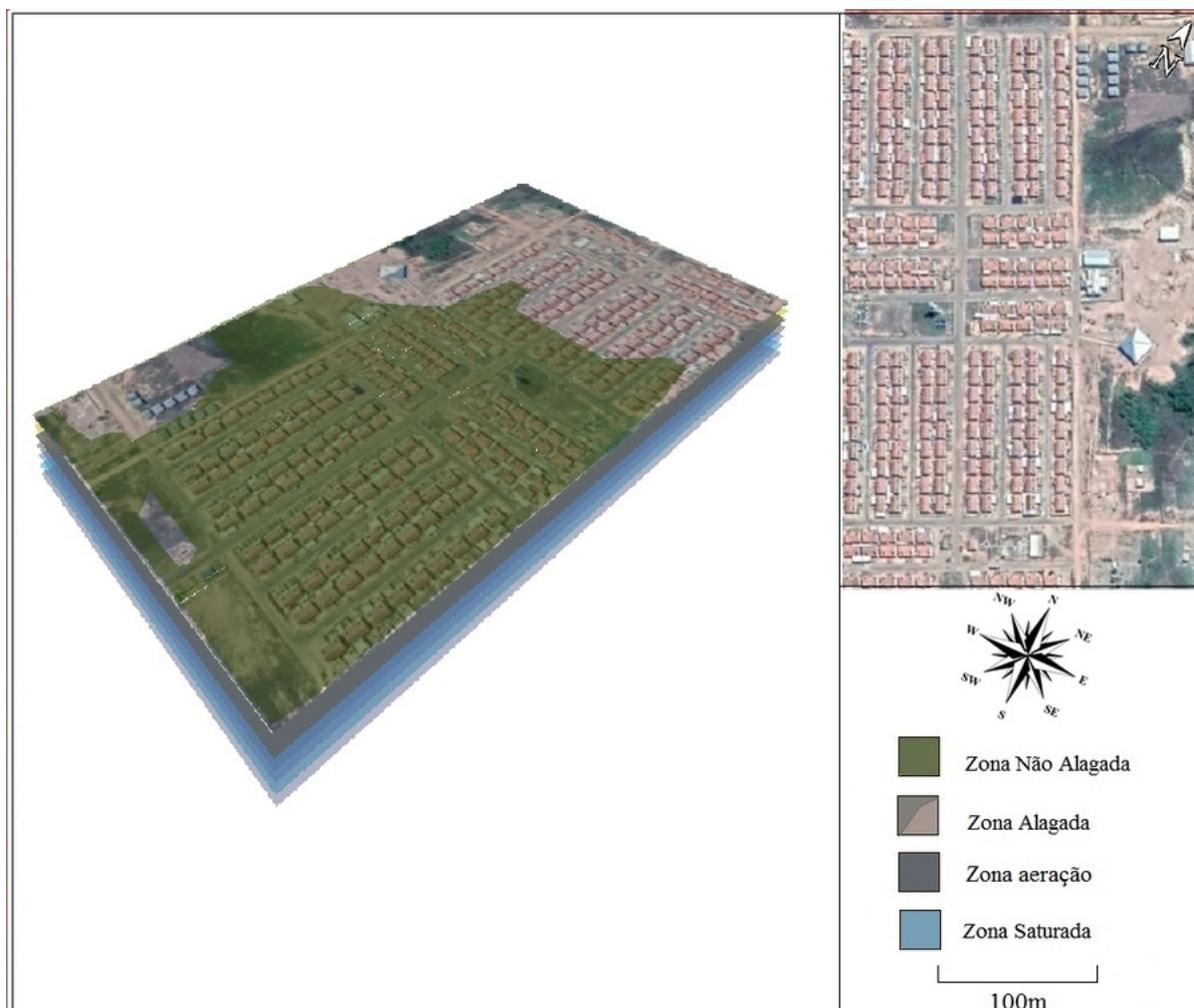
A imagem de uso e ocupação do solo da área **C** concentra-se sua maior parte em área impermeável (asfaltamento, casas construídas ou solo compactado) tendo essa característica em torno de 62%. O solo exposto, ou seja, a área de baixa permeabilidade tem a proporção de 11%, área verde é em torno de 12%, essa última é caracterizado por gramíneas. Os 15% da proporção é de porção construção de residências (**FIGURA 32**).

Figura 33 – Uso e ocupação do solo em área de alta intervenção antrópica



O modelo 3D para a área **C**, exibe uma faixa alagada acerca de 38% da região de alta intervenção antrópica, essa parcela inundada se deve, em geral, por uma combinação de fenômenos como: o lençol freático raso/próximo a superfície com a efetividade de precipitações de intensidades moderadas e fortes (**FIGURA 33**).

Figura 34 – Modelo 3D de área para inundação simulada C

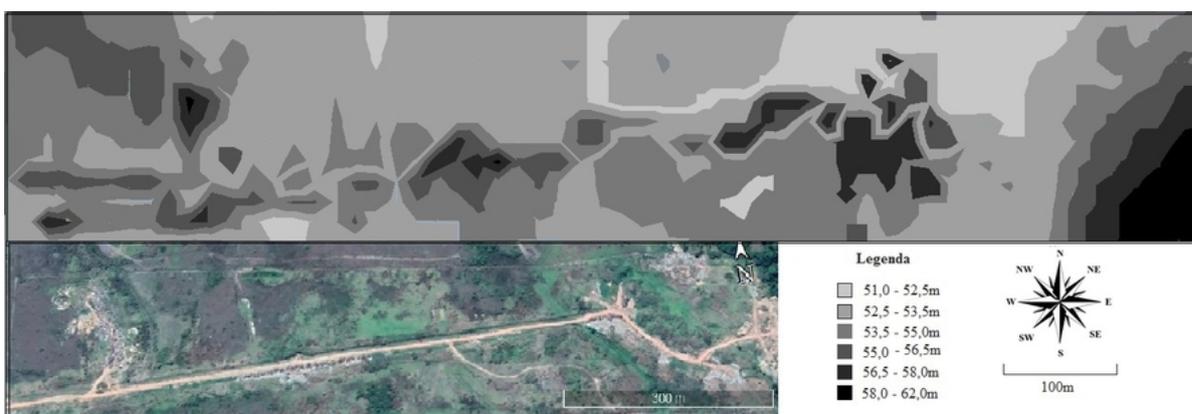


As análises da área de alta intervenção antrópica mostra em seu mapa de elevação topográfica, linhas geométricas definidas, caracterizando uma área modificada por técnicas de engenharia (**FIGURA 30**), e o mapa de fluxo mostra uma área retangular ao norte (N) (canto superior direito) uma área de estabilidade de fluxo superficial (poças temporais) (**FIGURA 31**). Todavia, a forma bem definida caracteriza uma área manipulada pelo homem, definindo que existem ações de modificações ao fluxo de escoamento superficial, porém, quando combinamos o uso e ocupação antrópica (**FIGURA 32**) e o nível do lençol freático (**FIGURA 33**) percebe-se que a região sudeste (SE) é uma área de potencial estabilidade de escoamento horizontal de águas livres e deposições de sedimentos, carregados por todo conjunto habitacional e, o referente fato pode vir a trazer transtornos aos domiciliares da parcela sul (S) do conjunto habitacional e que podem apresentar um quadro maior de vulnerabilidade as doenças vinculadas a questão hídrica, por residirem próximas aos potenciais criadouros de águas livres empoçadas, estudo que são corroborado por Silveira e Romero (2009) e Reis e Oliveira (2016).

#### 6.2.4 Área de alta intervenção antrópica (não planejada)

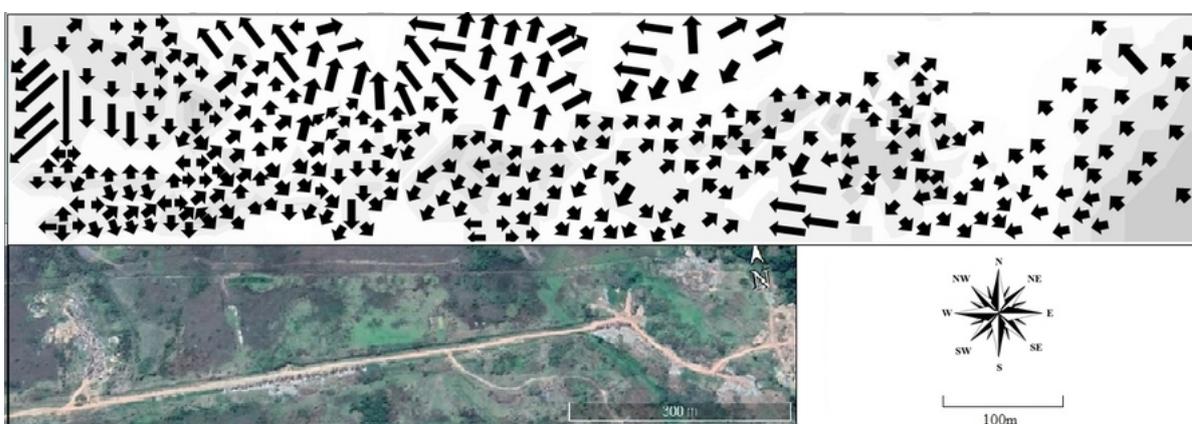
A planialtimetria da área **D** apresenta maior complexidade em relação as demais (já citadas) e também exibe a maior amplitude de cotas de elevações altimétricas, sendo que essa variação é de 51 a 62m. Essa significativa diferença se dá pela modificação exercida pelas empresas de gerenciamento de resíduo domiciliar do município de Humaitá-AM, gerando depressões e alteamentos, e alta compactação da área, além de construção de uma rede de drenagem improvisada e rústica (**FIGURA 35**).

**Figura 35 – Planialtimetria da área de alta (não planejada) intervenção antrópica**



O fluxo de escoamento superficial da área **D**, é a que apresenta maior complexidade, em comparação com as demais, pois a rede de fluxo é indefinida, pois, a sua topografia faz com que aumente o grau de complexidade com muitos pontos de depressão de fluxo estável (área propícia ao brotamento de a poças) (**FIGURA 36**).

**Figura 36 – Fluxo de escoamento superficial na área (não planejada) de alta intervenção antrópica**



O fluxo subterrâneo na área **D** apresenta o fluxo do sentido Leste (E) para Oeste (W), pois, o **D3** apresenta cota maior que **D2** e ambos maior que **D1**. Esse comportamento afirma que apesar das mudanças da característica na topografia e, até

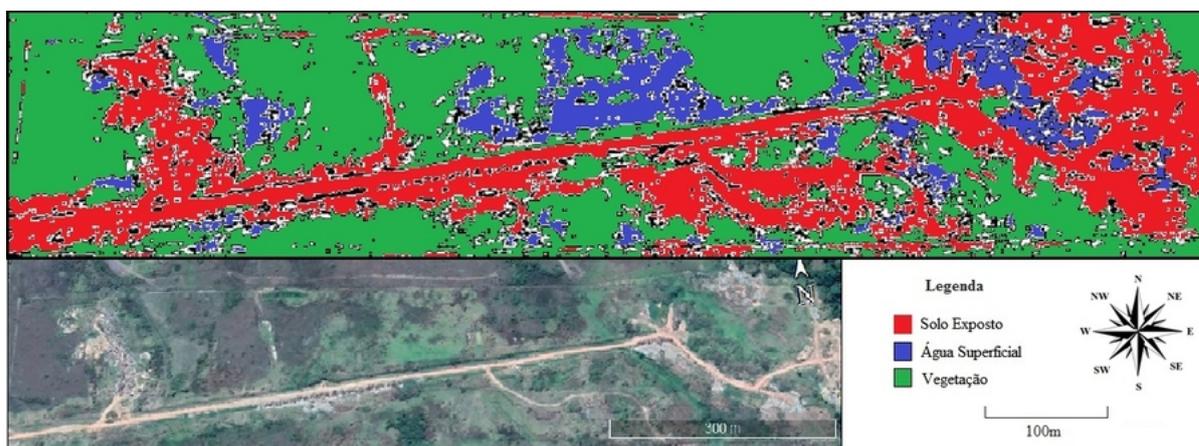
mesmo, na composição do extrato de solo, o nível estático flui em sentido a inclinação dos níveis decrescente das cotas de elevação topográfica do terreno (**FIGURA 37**)

**Figura 37 – Fluxo subterrâneo em área de alta (não planejada) intervenção antrópica**



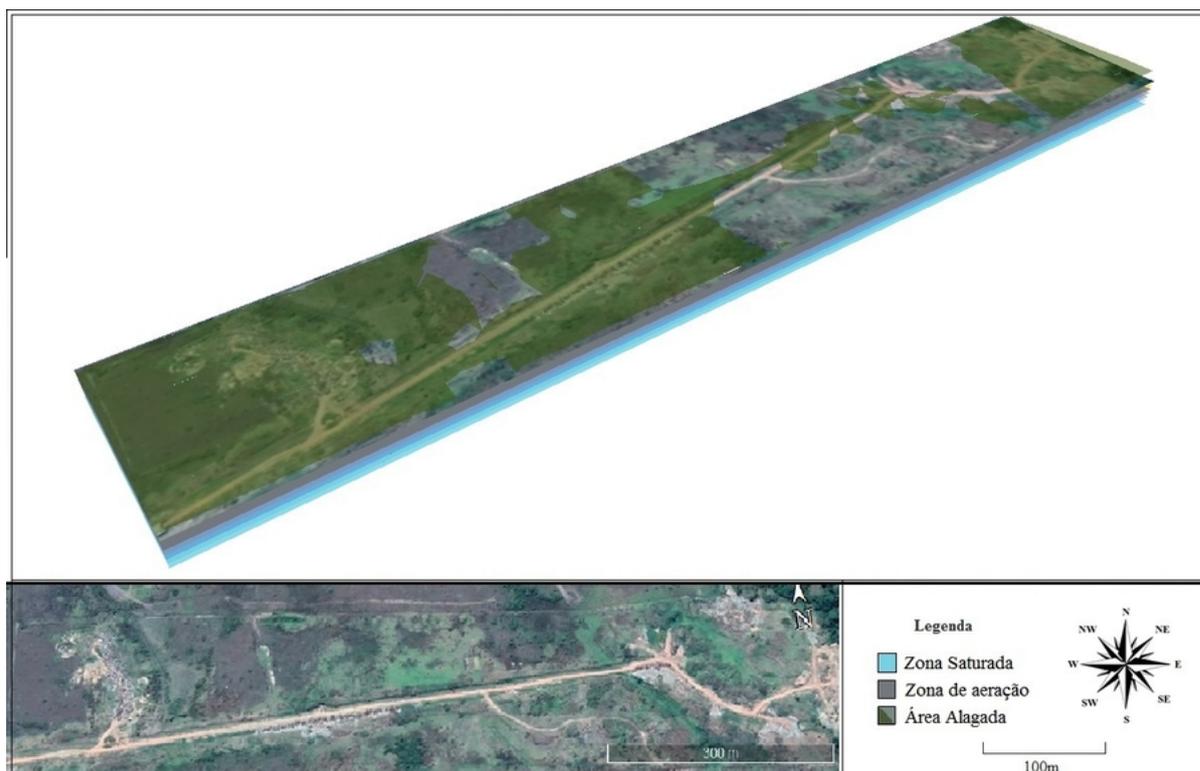
O uso e ocupação da área de altíssima interferência antrópica *D*, foi a que mais apresentou, no tratamento da suas imagens, pontos de faixas não-definidas no imageamento das análises de pixels, e a soma das áreas de solo exposto e espelho de água aparente, em torno de 55% e, de vegetação rasteira se configura 40% da área ocupada, restando 5% de pontos não-identificado (**FIGURA 38**).

**Figura 38 – Uso e ocupação do solo em área de alta (não planejada) intervenção antrópica**



O modelo 3D mostra a área de potencial área alagada, sendo que os níveis menos elevados são preenchidas por águas pluviais associadas a elevação do lençol freático e essa região está localizada a leste (E) - a direita da figura, apresenta maior área alagada em torno de 56% da área total de alta intervenção antrópica (não planejada) (**FIGURA 39**).

Figura 39 – Modelo 3D de área para inundação simulada D



A área de alta (não planejada) intervenção antrópica mostrou-se como ideal para a criação artificial de região estável de escoamento superficial (poças temporais), pois, apresenta declividades altas (com amplitudes de altíssimas cotas de elevações altimétrica para a região) em relação as outras áreas no estudo, e quando associada a malha topográfica, modificada por elevações de solos argilosos e compactados, em meio aos resíduos sólidos e/ou úmidos, resulta em um cenário propício a criação de poças temporárias, alimentada por águas livres, lençol freático raso, e o chorume proveniente dos resíduos depositados diariamente na área. Configurando-se uma área de alto risco a saúde pública, pois, essas poças são criadores de vetores resistentes a ambientes hostis. Resultando em aumento, de forma significativa de um ambiente perfeito a criadores de doenças como dengue, cólera entre outras patogeniedades (FARIA, 2012; CETESB, 2017; PARIZZOTO, 2012)

## 7 Considerações finais

Ter ciência do comportamento de componentes hidrológicos é importante para o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas, visto o potencial quadro de alterações de interferência antrópica nas Savanas Amazônicas e das pressões exercidas com ações de uso do solo, podem gerar mudanças significativas aos microclimas das regiões locais e adjacentes. Desta forma, os dados hidrológicos gerados por esta pesquisa trará subsídios aos gestores sobre o conhecimento a respeito do comportamento das águas livres e subterrânea na savana amazônica que já sofreram alterações de cobertura do solo por utilização urbanística, como áreas loteadas, conjunto habitacional e áreas para deposição de resíduos sólidos.

Em relação aos procedimentos de aquisição e exposição dos dados, o método tem o desempenho moderadamente satisfatório, pois requer uma gama de dados de precisão que demanda esforço logístico e uma equipe relativamente grande e empenhada na confecção de instrumentos para instalar e coletar os dados *in situ*. Entretanto, diante dos resultados, entende-se que tais informações simulam com maior proximidade o sistema ecológico real. Neste sentido, pesquisas com respeito à medição da acurácia dos instrumentos e técnicas de medição de componentes do ciclo hidrológico, de forma precisa, ainda necessitam serem realizadas com maior exatidão, devido às variações espaço-temporais dos parâmetros em diferentes nuances do mesmo bioma que tenha uma grande área espacial.

Já com relação aos procedimentos de simulação de comportamentos hidrológicos associados às mudanças de cobertura (maior impermeabilidade, compactação do solo e alteração nas declividades topográficas), bem como ao aumento populacional próximos ou presentes sobre tais áreas estudadas, obteve-se resultados que evidenciam desafios para a gestão pública da bacia e dos recursos hídricos para a região, pois de acordo com projeções realizadas, haverá o aumento da vulnerabilidade da população urbana próxima essas áreas com aumento de doenças promovidas por vetores urbanos que tem como criadores as poças temporárias, proveniente das águas livres, relacionadas às enchentes (período de chuvas) e na expressiva redução na qualidade hídrica, ao atendimento da demanda por abastecimento público e demais usos.

Neste sentido, haverá a possibilidade de minimização de riscos e da vulnerabilidade socioambiental da população, com antecedência de tempo, aderindo à relação previsão-prevenção, devido à antecipação de eventos associados a diferentes magnitudes, tendo como entrada o dado de precipitação média diária ou acumulada. Contudo, com os resultados deste trabalho acredita-se estar subsidiando ações de planejamento e gestão dos zoneamento de áreas e melhores projetos urbanísticos de

drenagem para a região sudoeste da amazônia. Recomenda-se que a sociedade não se exime da cobrança dos poderes públicos da ampliação e melhoria de saneamento básico (drenagem, resíduo, sólidos, esgotamento e água), e que se possa fazer mais pesquisas de qualitativas desses serviços e a expansão de alteração físicas e químicas das savanas amazônicas situadas ao sudoeste da amazônia.

## Referências

- ALEXANDRE, G. A. L. et al. **Contribuição ao estudo do comportamento geoquímico do 'AS', 'CU', 'PB', e 'ZN', originários de pesticidas agrícolas, nas zonas não saturadas e saturadas em área urbana e agrícola do município de Louveira-SP**. 1995. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-28102015-141840/>.
- ALVES, J. M. B. et al. Um estudo inter-comparativo de previsão sazonal estatística-dinâmica de precipitação no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 354 – 372, 2007.
- ARAUJO, A. C. da S. et al. **Programa Minha Casa Minha Vida**. 2013. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18142/tde-07052014-152618/>.
- AYOUB, T. de A. A. et al. **Conjuntos habitacionais e espaços livres**. 2014. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000189913>.
- BARBIN, H. S. et al. **“Histórico da evolução do uso do solo e estudo dos espaços livres públicos de uma região do município de Piracicaba, SP”**. 2004. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-31032004-135014/>.
- BARROS, M. C. et al. **Autogestão na implementação de políticas habitacionais**. 2011. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18142/tde-28072011-153425/>.
- BERMÚDEZ, O. U. B.; LEAL, A. C. U. **Gestão dos recursos hídricos em duas áreas metropolitanas da América do Sul**. 2012. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual Paulista (UNESP). Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/105025>.
- BERTOLO, R. A. et al. **Hidrodinâmica e hidrogeoquímica da Zona não saturada do Aquífero Adamantina em Urânia - SP**. 2001. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-20012014-174523/>.
- BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. **Subsídios à operação de reservatórios baseada na previsão de variáveis hidrológicas**. 2010. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/26916>.
- BRITTO, F. P.; MENDONÇA, M.; CATARINA, U. F. de S. **Distribuição espaço-temporal da precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul**. 2004. Dissertação (Mestrado) — Florianópolis, SC. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/87871>.
- CAMPOS, R. M.; CAMARGO, R. D.; HARARI, J. Caracterização de eventos extremos do nível do mar em Santos e sua correspondência com as reanálises do modelo do NCEP no sudoeste do Atlântico Sul. **Revista Brasileira de**

- Meteorologia**, scielo, v. 25, p. 175 – 184, 06 2010. ISSN 0102-7786. Disponível em: <http://www.scielo.br/scieloOrg/php/articleXML.php?lang=en&pid=S0102-77862010000200003>.
- CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. **Modelos físicos e de informação em Geografia**. São Paulo: USP–Livros Técnicos e Científicos, 1975.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de bacias hidrográficas**. 2. ed. [S.l.]: São Paulo:: Edgard Blucher, 2003.
- COSTA, I. S. Hidrologia isotópica de águas subterrâneas na região de Cipó –BA. **Revista Brasileira de Geofísica**, scielo, v. 15, p. 89 – 89, 03 1997. ISSN 0102-261X. Disponível em: <http://www.scielo.br/scieloOrg/php/articleXML.php?lang=en&pid=S0102-261X1997000100021>.
- CUTRIM, J. G. et al. **PROCESSOS DE APROPRIAÇÃO DO CERRADO AMAZÔNICO MARANHENSE**. 2011. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Disponível em: <http://tede2.pucgoias.edu.br:8080//handle/tede/1014>.
- DEBORTOLI, N. dos S.; RODRIGUES FILHO, S.; DUBREUIL, V. **O ciclo hidrológico no norte do estado do Mato Grosso e sua relação com o uso do solo em uma perspectiva temporal (1977-2007)**. 2011. Dissertação (Mestrado). Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/7944>.
- FARIA, B. F. de et al. **A influência das áreas de disposição de resíduos sólidos da cidade de Campinas, SP na qualidade das águas**. 2012. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas . Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=000881732>.
- FELIZARDO, L. F. **Integração de Software e Hardware no Desenvolvimento de VANTs Autônomos de Baixo Custo**. 2016. Dissertação (Mestrado). Disponível em: <http://repositorio.unifei.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/477>.
- FELTRAN-BARBIERI, R. Outro lado da fronteira agrícola: breve história sobre a origem e declínio da agricultura autóctone no cerrado. **Ambiente & Sociedade**, scielo, v. 13, p. 331 – 345, 12 2010. ISSN 1414-753X. Disponível em: <http://www.scielo.br/scieloOrg/php/articleXML.php?lang=pt&pid=S1414-753X2010000200008>.
- FERNANDES, A. M. et al. **Comportamento do N inorgânico dissolvido em águas superficiais e sub-superficiais em área com cultivo de cana-de-açúcar**. 2008. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-15042009-153059/>.
- FERREIRA, I. N. R.; TONI, F. **Parcerias para a gestão ambiental em propriedades rurais**. 2011. Dissertação (Mestrado). Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/7491>.
- FINEZA, A. G.; MARQUES, E. A. G.; CHAGAS, C. da S. **Modelagem hidrogeológica de um aquífero freático poroso com o Visual Modflow e por meio de Redes Neurais Artificiais**. 2015. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/6506>.

- GLOEDEN, E. et al. **Monitoramento da qualidade da água das zonas não saturada e saturada em área de fertirrigação com vinhaça**. 1994. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-03062015-094308/>.
- GODOY, M. C. T. F. de et al. **Estudo hidrogeológico das zonas não saturada e saturada da formação Adamantina, em Presidente Prudente, Estado de São Paulo**. 1999. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-16112015-132512/>.
- GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O. Environmental modeling with GIS. In: GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O. (Ed.). **Environmental modeling with GIS**. New York: Oxford University Press, 1993. cap. 2, p. 8 – 15.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological society of America bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275 – 370, 1945.
- LIMA, V. M. P. et al. INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO E POROSIDADE DE SOLOS CULTIVADOS EM ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO SUL DE MINAS GERAIS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1087 – 1095, 2009.
- MAIDMENT, D. R. Environmental modeling with GIS. In: GOODCHILD, M. F. (Ed.). **Hydrologic Modeling**. New York: New York, 1993. cap. 14, p. 147 – 167.
- MELLO, F. C. et al. **Gestão urbana como processo integrado**. 2005. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/MPBB-86WKP6>.
- MELZ, E. M.; TIAGO, P. V. Propriedades físico-químicas e microbiológicas do solo de um Parque em Tangará da Serra, MT, uma área de transição entre Amazônia e Cerrado. **Acta Amazonica**, scielo, v. 39, p. 829 – 834, 00 2009. ISSN 0044-5967. Disponível em: <http://www.scielo.br/scieloOrg/php/articleXML.php?lang=en&pid=S0044-59672009000400011>.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Desmatamento no Cerrado em 2018**. 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/15309-desmatamento-no-bioma-cerrado-em-2018.html>. Acesso em: 22/03/2019.
- NEVES, M. G. F. P. **Lote urbano real**: concepção, implantação e avaliação de medidas simplificadas de controle na geração do escoamento superficial. Maceió, 2016.
- OLIVEIRA, B. O. S. de. Impactos ambientais decorrentes do lixão da cidade de Humaitá, Amazonas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 4, p. 80 – 84, novembro 2016.
- OLIVEIRA, L. F. C. de et al. Transporte de solutos no solo e no escoamento superficial: I - desenvolvimento do modelo e simulação do movimento de água e escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, scielo, v. 4, p. 63 – 69, 04 2000. ISSN 1415-4366. Disponível em: <http://www.scielo.br/scieloOrg/php/articleXML.php?lang=en&pid=S1415-43662000000100012>.

- PARIZOTTO, T. M. et al. **Estudo morfológico e hidroquímico de pequenas depressões na Nhecolândia, Pantanal, MS**. 2012. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-14012013-124940/>.
- PERES, I. K. et al. **Conflitos nas políticas ambientais**. 2016. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/91/91131/tde-19042016-092527/>.
- PIMENTA, M.; MARCO JÚNIOR, P. de. **Chrysomelidae (insecta/coleoptera) como biondicadores de qualidade ambiental em áreas de Cerrado no estado de Goiás -Brasil**. 2011. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Goiás. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/337>.
- PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; SILVA, D. D. Comparação entre dois métodos para a determinação do volume de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, scielo, v. 25, p. 403 – 410, 06 2001. ISSN 0100-0683. Disponível em: <http://www.scielo.br/scieloOrg/php/articleXML.php?lang=en&pid=S0100-06832001000200016>.
- REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, M. S. de. Desempenho de trincheiras de infiltração de água de chuva para controle do escoamento superficial nos lotes urbanos. São Paulo, n. 16, p. 4561 – 4572, setembro 2016.
- RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Modelos hidrológicos para a gestão ambiental. Programa de ciência e tecnologia para gestão de ecossistemas: Ação, métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental**. [S.l.], 2000.
- SAWYER, D. Migração e ambiente no Centro-Oeste. In: PRONEX, N. (Ed.). **População, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no cerrado**. única. Campinas: NEPO/UNICAMP: PRONEX, 2002. p. 279 – 299.
- SENA, E. T. et al. **Variabilidade espacial e temporal da forçante radiativa direta de aerossóis de queimadas e os efeitos da mudança de uso do solo na Amazônia**. 2013. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43134/tde-07102014-154346/>.
- SILVA, J. A. R. et al. Perfil hematológico de búfalas da raça Murrah, criadas ao sol e à sombra, em clima tropical da Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, scielo, v. 41, p. 425 – 429, 00 2011. ISSN 0044-5967. Disponível em: <http://www.scielo.br/scieloOrg/php/articleXML.php?lang=en&pid=S0044-59672011000300014>.
- SILVA, M. G. da; NETTO, A. de O. A. **Modelagem ambiental na bacia hidrográfica do Rio Poxim-Açu/SE e suas relações antrópicas**. 2013. Tese (Doutorado). Disponível em: <http://bdtd.ufs.br/handle/tede/1163>.
- SILVEIRA, A. L. R. C. da; ROMERO, M. A. B. **Parâmetros bioclimáticos para avaliação de conjuntos habitacionais na região tropical subúmida do Brasil**. 2009. Tese (Doutorado). Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/2289>.
- SOUZA, M. A. de; GOHN, M. da G. M. **As formas organizacionais de produção em assentamentos rurais do movimento dos trabalhadores rurais sem-terra-MST**.

1999. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Educação. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000188985>.

SOUZA, M. N. et al. **Dinâmica do uso dos recursos hídricos nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, afluentes do rio Paracatu**. 2008. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <http://locus.ufv.br/handle/123456789/648>.

SOUZA, W. de O. et al. A realidade aumentada na apresentação de produtos cartográficos. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 4, p. 790 – 806, 2016.

TORRES, J. L. R. et al. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, scielo, v. 29, p. 609 – 618, 07 2005. ISSN 0100-0683. Disponível em: <http://www.scielo.br/scieloOrg/php/articleXML.php?lang=en&pid=S0100-06832005000400013>.

TUCCI, C. E. M. Plano Diretor de drenagem urbana: Princípios e Concepção. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5 – 12, 1997. Disponível em: [https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/56/db01fdcd78c5843f024709a1bf2b7bdb\\_6f0118d184384e38afda2b400a5d6458.pdf](https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/56/db01fdcd78c5843f024709a1bf2b7bdb_6f0118d184384e38afda2b400a5d6458.pdf). Acesso em: 22/05/2018.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológico**. Porto Alegre: Universidade/UFRGS/ABRH, 1998.

VARNIER, C. L. et al. **Avaliação da contaminação de uma fossa negra desativada na zona não-saturada do aquífero Adamantina em Urânia (SP)**. 2007. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-29062007-095438/>.

VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. **Eng, Sanitária Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 655 – 662, out/dez 2016.

VERTESSY, R. A. et al. Predicting water yield from a mountain ash forest catchment using a terrain analysis based catchment model. **Journal of Hydrology**, v. 150, n. 2-4, p. 665 – 700, 1993.

VIEIRA, D. L. et al. Síndromes de dispersão de espécies arbustivo-arbóreas em cerrado sensu stricto do Brasil Central e savanas amazônicas. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 2, p. 215 – 220, 2002.