

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**

**GISELE APARECIDA NOGUEIRA YALLOUZ**

**ESPACIALIZAÇÃO E ANÁLISE DA IMPERMEABILIZAÇÃO URBANA  
E SUAS INTERFERÊNCIAS AMBIENTAIS E URBANÍSTICAS**



Campo Grande, MS  
Novembro de 2018

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**

**GISELE APARECIDA NOGUEIRA YALLOUZ**

**ESPACIALIZAÇÃO E ANÁLISE DA IMPERMEABILIZAÇÃO URBANA  
E SUAS INTERFERÊNCIAS AMBIENTAIS E URBANÍSTICAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais junto à Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG).

**Orientadora:** Camila Aoki

**Coorientadores:** Antonio C. Paranhos  
Filho e Eliane Guaraldo

Campo Grande, MS  
Novembro de 2018

## **Folha de Aprovação**

GISELE APARECIDA NOGUEIRA YALLOUZ

### **ESPACIALIZAÇÃO E ANÁLISE DA IMPERMEABILIZAÇÃO URBANA E SUAS INTERFERÊNCIAS AMBIENTAIS E URBANÍSTICAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais junto à Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG).

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**Banca Examinadora:**

---

**CAMILA AOKI**  
ORIENTADORA – PGRN – UFMS

---

**ROBERTO MACEDO GAMARRA**  
PGRN – UFMS

---

**LUCIANA ESCALANTE PEREIRA**  
PGTA – UFMS

## Dedicatória

À todos que se empenham em harmonizar  
a presença humana no meio urbano.

## **Agradecimentos**

A Deus, pois durante a caminhada em busca deste objetivo estive sempre amparada por Ele.

A minha família que não mediu esforços e esteve sempre presente me auxiliando em tudo.

Aos meus professores que ao transmitirem seus conhecimentos proporcionaram uma verdadeira revolução na minha vida, em especial Professoras Camila Aoki, Eliane Guaraldo e Professor Antonio Conceição Paranhos Filho.

Ao Laboratório de Geoprocessamento para Aplicações Ambientais (LabGis – UFMS) e ao Laboratório da Paisagem (LabPA – UFMS) por toda infraestrutura fornecida para a execução dessa dissertação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

## Resumo

O funcionamento das cidades é constantemente influenciado por elementos internos e externos. Quando esses fatores estão em desequilíbrio, resultam em colapsos físicos, sociais e econômicos. Essa realidade somada a um rápido crescimento da população acarreta transformações ambientais significativas, além de ocasionar uma série de transtornos aos cidadãos. Nos últimos anos, os registros de casos de inundações e alagamentos nas cidades brasileiras tem se tornado cada vez maiores. As causas quando relacionadas ao processo de urbanização, geralmente dizem respeito à ocupação de áreas de várzea e ou à impermeabilização excessiva das superfícies. Em princípio, toda cidade possui um potencial de resiliência urbana, ou seja, a capacidade de regenerar seu funcionamento integralmente mesmo após eventos extremos. Mas para que isso ocorra são necessárias abordagens e estratégias de planejamento urbano integradas a uma visão de projeto adaptativo. No caso das cheias urbanas o foco deve ser reestabelecer parte do equilíbrio do ciclo hidrológico da bacia hidrográfica. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi investigar e compreender os efeitos do processo de impermeabilização do solo urbano à luz das geotecnologias. Foram utilizados dados de sensoriamento remoto, além de *softwares* livres de SIG's (Sistema de Informações Geográficas), todos disponíveis de forma gratuita na internet, capazes de gerar modelos a partir de índices espectrais como: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, sigla em inglês); Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI, sigla em inglês); Índice de Superfície Urbana Impermeável (USWI, sigla em inglês) e o Índice de Superfície Impermeável (SWI, sigla em inglês). A partir da metodologia aplicada chegou-se a produção de mapas temáticos, os quais poderão servir como base para futuras análises ambientais e urbanísticas. Espera-se que as respostas alcançadas possam contribuir com futuros estudos pela busca de diretrizes para a transformação da paisagem urbana.

**Palavras-chave:** Planejamento urbano, índices espectrais, impermeabilidade do solo, geotecnologias.

## **Abstract**

*The functioning of cities is constantly influenced by internal and external elements. When these factors are in imbalance, they result in physical, social, and economic collapses. This reality combined with rapid population growth leads to significant environmental changes, as well as causing a number of disruptions to citizens. In recent years, records of flood and flood events in Brazilian cities have become increasingly large. The causes when related to the urbanization process, generally concern the occupation of floodplain areas and / or excessive waterproofing of the surfaces. In principle, every city has a potential for urban resilience, that is, the ability to regenerate its functioning integrally even after extreme events. But for this to happen, urban planning approaches and strategies that are integrated into an adaptive design vision are needed. In the case of urban floods the focus should be to reestablish part of the balance of the hydrological cycle of the river basin. Thus, the objective of this research was to investigate and understand the effects of the urban waterproofing process in the light of geotechnologies. Remote sensing data were used, as well as free GIS software (Geographic Information System), all available free of charge on the Internet, capable of generating models from spectral indexes such as: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI, acronym in English); Normalized Difference Water Index (NDWI); Waterproof Urban Surface Index (USWI) and Waterproof Surface Index (SWI). From the applied methodology, thematic maps were produced, which could serve as a basis for future environmental and urban analyzes. It is hoped that the answers obtained could contribute to future studies by the search of guidelines for the transformation of the urban landscape.*

**Key words:** *Urban planning, spectral indices, soil impermeability, geotechnology.*

## Lista de Ilustrações

<b>Figura 1</b>	Distribuição temporal das publicações por base pesquisada ...	20
<b>Figura 2</b>	Distribuição das 27 publicações (artigos e resumos de conferências) por ano nas cinco bases de dados analisadas ...	21
<b>Figura 3</b>	Relação entre quantidade de produtos e veículos de divulgação.....	22
<b>Figura 4</b>	Representatividade das abordagens em relação às 27 publicações analisadas.....	27
<b>Figura 5</b>	Áreas de formação dos autores .....	28
<b>Figura 6</b>	Localização da área de estudo.....	33
<b>Figura 7</b>	Fatiamento dos valores do NDVI.....	39
<b>Figura 8</b>	Fatiamento dos valores do NDWI.....	38
<b>Figura 9</b>	Fatiamento dos valores do SWI.....	41
<b>Figura 10</b>	Alvos com grau máximo de impermeabilização no método SWI.....	41
<b>Figura 11</b>	Fatiamento dos valores do USWI.....	42

<b>Figura 12</b>	Carta temática de impermeabilização do solo – SWI.....	45
<b>Figura 13</b>	Carta temática de impermeabilização do solo – USWI.....	45
<b>Figura 14</b>	Delimitação dos fragmentos para análise.....	46
<b>Figura 15</b>	Fragmentos analisados dos bairros Parati (a) e Carlota (b).....	46
<b>Figura 16</b>	Áreas de cabeceira da bacia do Bandeira.....	47

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1</b>	Palavras chaves utilizadas para as buscas nas bases de dados.....	17
<b>Tabela 2</b>	Resultado das buscas por: “( <i>geoprocessing OR remote sensing</i> ) AND ( <i>flood*</i> )”.....	17
<b>Tabela 3</b>	Resultado das buscas por: “( <i>geoprocessing OR remote sensing</i> ) AND ( <i>“impervious surface”</i> )”.....	18
<b>Tabela 4</b>	Resultado das buscas por: (“ <i>impervious surface</i> ”) AND ( <i>flood*</i> ).....	18
<b>Tabela 5</b>	Resultado das buscas por: (“ <i>impervious surface</i> ”) AND ( <i>flood*</i> ) AND ( <i>geoprocessing OR “remote sensing”</i> ).....	19
<b>Tabela 6</b>	Critério de seleção das publicações.....	19
<b>Tabela 7</b>	Grupo das publicações relacionadas a cálculos hidrológicos e hidráulicos.....	23
<b>Tabela 8</b>	Grupo das publicações que enfatizaram o uso das geotecnologias para a detecção de áreas impermeáveis.....	23
<b>Tabela 9</b>	Grupo das publicações relacionadas à Infraestrutura Verde....	24
<b>Tabela 10</b>	Grupo das publicações centradas nos impactos gerados pela mudança do uso e ocupação do solo.....	25
<b>Tabela 11</b>	Grupo das publicações relacionadas às metodologias de análise de risco.....	26
<b>Tabela 12</b>	Comparação dos resultados do SWI e USWI em alvos acima de 18.000m <sup>2</sup> .....	42
<b>Tabela 13</b>	Áreas (km <sup>2</sup> ) das classes geradas pelos índices SWI e USWI...47	

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>12</b>
1.1. ESPECIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	12
1.2. OBJETIVO GERAL .....	14
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>2. ESTUDO BIBLIOMÉTRICO SOBRE O USO DAS GEOTECNOLOGIAS EM ÁREAS URBANAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS.....</b>	<b>15</b>
2.1. INTRODUÇÃO .....	15
2.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	16
2.2.1 <i>Seleção das palavras chaves</i> .....	16
2.2.2 <i>Refinamento das buscas</i> .....	19
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	20
2.4. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO I.....	28
<b>3. APLICAÇÃO DE ÍNDICES ESPECTRAIS NA ESPACIALIZAÇÃO DE ÁREAS URBANAS IMPERMEÁVEIS.30</b>	
3.1. INTRODUÇÃO .....	30
3.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	31
3.2.1 <i>Área de Estudo</i> .....	31
3.2.2 <i>Seleção das imagens e obtenção de dados</i> .....	33
3.2.3 <i>Geração dos Índices Espectrais</i> .....	34
3.2.4. <i>Processamento dos dados</i> .....	36
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	37
3.4. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO II.....	49
<b>4. CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>50</b>
<b>5. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>58</b>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS – ARTIGOS BIBLIOMETRIA .....	58
<b>ANEXO B .....</b>	<b>61</b>
BACIA HIDROGRÁFICA DO BANDEIRA.....	61
<b>ANEXO C .....</b>	<b>62</b>
CARTA DE DRENAGEM – GRAU I .....	62
<b>ANEXO D.....</b>	<b>63</b>
CARTA GEOTÉCNICA – CAMPO GRANDE MS .....	63

## 1. Introdução Geral

### 1.1. Especificação do problema

Nos últimos anos, uma expressiva parcela das cidades brasileiras, independentemente de seu porte, vem apresentando sérios problemas de inundações e alagamentos. Esses processos fazem parte das características negativas do processo de urbanização e afetam a vida de milhares de pessoas, causando prejuízos sociais e econômicos (BRASIL, 2007). Segundo o que preconiza a Carta de Atenas, as cidades devem desempenhar quatro funções básicas: habitar, trabalhar, recrear e circular (CURY, 2004). Portanto, torna-se imprescindível a compreensão dos processos que levam às cheias urbanas, para que ações mitigadoras possam ser planejadas e implementadas.

Os problemas de inundações e alagamentos das cidades, quando relacionados ao processo de urbanização, geralmente dizem respeito à ocupação de áreas de várzea e ou à impermeabilização excessiva das superfícies. Além disso, mudanças na estrutura natural do solo ou ainda perda da cobertura vegetal original, podem desencadear uma nova dinâmica para o escoamento superficial das águas. Por outro lado, os sistemas tradicionais de drenagem urbana priorizam a canalização das águas pluviais, transferindo para jusante os riscos de transbordamentos (TUCCI, 2003).

Diante dessas afirmações e para que a relação entre o meio urbano, sociedade e natureza seja equilibrada, é preciso identificar os quadros físicos, bióticos e antrópicos que compõem sua estrutura. Assim, é possível evidenciar seu comportamento, suas dinâmicas e funcionalidades (MACEDO, 1995). As áreas de alto potencial ambiental devem manter suas características e funções para a cidade. Por isso, o planejamento e a gestão ambiental dessas áreas devem ter prioridade frente a questões de ordem econômica (PIRAJÁ, 2013).

As inundações devido à urbanização poderão ser melhor gerenciadas à medida que novas abordagens e estratégias integradas de projeto sejam implantadas, com foco no reequilíbrio do ciclo hidrológico da bacia hidrográfica (SOUZA et al., 2012). Técnicas consolidadas de planejamento e gestão dos sistemas de drenagem urbana, têm-se demonstrado eficientes, como o caso dos Estados Unidos com o Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low Impact Development – LID*), ou do Reino Unido com o Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis (*Sustainable Urban*

*Drainage Systems – SUDS*). Entretanto, no Brasil inúmeras barreiras ainda são encontradas, principalmente com relação à falta de estrutura institucional (CANHOLI, 2013).

Neste contexto, as geotecnologias, em especial o sensoriamento remoto, representam uma alternativa extremamente viável para a produção de material temático e diagnóstico ambiental de áreas urbanas (SANTOS et al., 2016). O uso de imagens de satélite, assim como o seu processamento digital em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), traz economia de tempo e recursos aos tomadores de decisões (PARANHOS FILHO et al., 2016). Essas técnicas geram avanços significativos no planejamento e na gestão das cidades, além de apoiar a avaliação dos riscos de inundações e alagamentos.

Inúmeros trabalhos já foram desenvolvidos visando extrair informações sobre superfícies impermeabilizadas a partir de dados de sensoriamento remoto. O uso de sensores multiespectrais contribui com a aquisição de dados confiáveis e em um curto espaço de tempo (JENSEN, 2011). Uma das técnicas do sensoriamento remoto mais utilizadas em estudos ambientais, é a geração e o uso de índices espectrais. No âmbito do planejamento urbano eles caracterizam-se como fontes alternativas na produção de dados, que podem subsidiar políticas e programas com informações estratégicas (PEREIRA, 2018).

O presente trabalho adotará a Bacia Hidrográfica do Bandeira como recorte espacial a ser analisado. Esta unidade permite um estudo em profundidade numa perspectiva sistêmica, além de oferecer a vantagem de um enfoque nos aspectos econômicos, sociais e ambientais de maneira simultânea e cumulativa (MAMEDE, 2000, TEODORO et al., 2007).

O capítulo um traçou um panorama sobre o uso das geotecnologias nos estudos urbanos com foco nas questões das cheias, além de apresentar dados que proporcionam maior compreensão do contexto atual pesquisado.

No capítulo dois foram utilizados dois modelos gerados a partir da combinação de índices espectrais, o Índice de Superfície Urbana Impermeável (USWI, sigla em inglês) e o Índice de Superfície Impermeável (SWI, sigla em inglês). Através dessa modelagem foi possível não só detectar as áreas impermeáveis da bacia hidrográfica, como também aferir o grau de impermeabilização de cada ponto.

## 1.2. Objetivo geral

Investigar e compreender como a impermeabilização do solo urbano pode ser mensurada à luz das geotecnologias.

## 1.3. Objetivos Específicos

### Capítulo I

- Mensurar a produção científica em torno do uso das geotecnologias aplicadas aos estudos de áreas urbanas sujeitas à inundações e alagamentos;
- Identificar as áreas do conhecimento com produção científica sobre espaços urbanos sujeitos à inundações e alagamentos;

### Capítulo II

- Espacializar as áreas permeáveis e impermeáveis da bacia hidrográfica do Bandeira, utilizando os índices de impermeabilidade;
- Identificar os diferentes graus de impermeabilização da área de estudo;
- Quantificar as dimensões espaciais das áreas permeáveis e impermeáveis da bacia hidrográfica urbana estudada;
- Gerar cartas temáticas de impermeabilização do solo através dos índices SWI e USWI.

## 2. Estudo bibliométrico sobre o uso das geotecnologias em áreas urbanas sujeitas a inundações e alagamentos

### 2.1. Introdução

Diante dos transtornos ocasionados por inundações e alagamentos em ambientes urbanos, e devido à complexidade que esses problemas apresentam, é necessário adotar abordagens integrativas para o diagnóstico e resolução dessas questões. Neste contexto as geotecnologias se configuram como um conjunto de ferramentas eficazes, à medida que aliam os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) ao processamento dos dados coletados.

As geotecnologias são compostas por soluções em *hardware* e *software*, com o intuito de fornecer subsídios aos tomadores de decisões para o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis de um determinado local (ROSA, 2003). Nesse sentido, o sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizado nos estudos ambientais urbanos, devido à sua grande adaptabilidade (LAJO, 2003). Dessa forma, trabalhos de caracterização e gestão do meio físico, estimativa do escoamento superficial, quantificação da permeabilidade do solo, ganham agilidade e confiabilidade ao serem desenvolvidos com essas ferramentas.

À medida que os dados podem ser sobrepostos através de uma base SIG associada ao sensoriamento remoto é possível verificar a influência do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica no processo de expansão urbana (ABAS; HASHIM, 2014). Contudo, Taubenbock et al. (2011) destacam que há uma lacuna entre o conhecimento produzido até o presente momento e os gestores públicos, e que por isso é importante fortalecer a interface “ciência–usuário–políticas públicas”.

Analisando o posicionamento desses e de outros autores, conclui-se sobre a importância e abrangência do tema. Desse modo, foi identificada a necessidade de realizar um levantamento bibliométrico, junto às bases oficiais de pesquisa, sobre como as geotecnologias vêm sendo aplicadas aos estudos urbanos, especialmente àqueles relacionados aos problemas de inundações e alagamentos.

A bibliometria é uma técnica utilizada quando se almeja analisar aspectos da produção científica de uma determinada área. Ela visa reunir e organizar grandes quantidades de dados, tais como: ano de publicação, país de origem, indicadores científicos, produtividade dos autores, entre outros (TAGUE-SUTCLIFFE, 1992 apud

MACIAS-CHAPULA, 1998, DE MEDEIROS; VITORIANO, 2015). Sendo assim, o objetivo deste capítulo foi traçar um panorama do uso das geotecnologias em áreas urbanas sujeitas a inundações e alagamentos, identificando as abordagens mais utilizadas, assim como as áreas do conhecimento mais ativas nesta produção.

## **2.2. Procedimentos Metodológicos**

### **2.2.1 Seleção das palavras chaves**

Inicialmente, foram elencadas algumas palavras-chaves que melhor representassem o universo estudado (Tabela 1). Esses termos serviram de base para as primeiras buscas e, à medida que as leituras foram avançando, o objeto do estudo foi sendo melhor caracterizado. Os termos utilizados estavam em inglês, visto a grande abrangência de estudos publicados nesta língua. Entretanto, também foram realizadas buscas com esses termos em português com o intuito de aferir o alcance das publicações nacionais.

As buscas ocorreram entre os meses de outubro de 2017 e março de 2018 no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/MEC. O acesso a esse conteúdo foi disponibilizado por meio da parceria entre a CAPES e a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS e concentrou-se nas seguintes Bases de Dados: *Web of Science* – Coleção Principal (REUTERS, 2018), *Scopus* (ELSEVIER BV, 2018a), *Wiley Online Library* (JOHN W & SONS, 2018) *Science Direct* (ELSEVIER BV, 2018b) e *Scielo* (FAPESP et al., 2018).

Foram testadas quatro *strings* (chaves-de-busca), as duas primeiras agruparam as geotecnologias (*geoprocessing OR remote sensing*) com inundações (*flood\**) (Tabela 2) e depois superfícies impermeabilizadas (*impervious surface*) (Tabela 3). A busca na base Scielo foi feita com a *string* em português. Os resultados alcançados demonstraram claramente um retorno mais acentuado com o termo inundação (*flood\**).

Em seguida, buscou-se pela combinação das palavras inundações (*flood\**) e superfícies impermeabilizadas (*impervious surface*) (Tabela 4), pois ainda que o objetivo desse estudo seja traçar um panorama do uso das geotecnologias nesta área, essa estratégia teve como princípio aferir o alcance das publicações sem o uso das geotecnologias.

**Tabela 1** - Palavras chaves utilizadas para as buscas nas bases de dados

(o caractere “\*” permite detectar as variantes dos termos).

Termo Em Inglês	Significado Em Português	Aspectos
1 <i>Flood*</i>	Inundação, inundados, etc.	
2 <i>Overflow</i>	Transbord*	
3 <i>Surface runoff</i>	Escoamento superficial	Físicos
4 <i>Drainage system</i>	Sistema de drenagem	
5 <i>Impervious surface</i>	Superfície impermeabilizada	
6 <i>Urban*</i>	Urbanismo, urbano, urbanização, etc.	
7 <i>Vulnerabilit*</i>	Vulnerabilidade, vulnerabilização, etc.	Sociais
8 <i>LID (low impact development)</i>	Desenvolvimento de baixo impacto	
9 <i>Geoprocessing</i>	Geoprocessamento	
10 <i>Remote sensing</i>	Sensoriamento remoto	
11 <i>Free software</i>	Software livre	Tecnológicos
12 <i>Open source software</i>	Software de código aberto	
13 <i>Geotechnolog*</i>	Geotecnologias	

**Tabela 2** - Resultado das buscas por: “(geoprocessing OR remote sensing) AND (flood\*)”.

Base de Dados	Retorno
<i>Web of Science</i>	2.993
Scopus	5.517
<i>Wiley Online Library</i>	9.029
<i>Science Direct</i>	14.076
Scielo	2
<b>TOTAL</b>	<b>31.617</b>

**Fonte:** ELSEVIER BV, 2018a; ELSEVIER BV, 2018b; FAPESP et al., 2018; JOHN W & SONS, 2018; REUTERS, 2018.

**Tabela 3** - Resultado das buscas por: “(geoprocessing OR remote sensing) AND (impervious surface”).

Base de Dados	Retorno
<i>Web of Science</i>	376
Scopus	675
<i>Wiley Online Library</i>	844
<i>Science Direct</i>	1.205
Scielo	-
<b>TOTAL</b>	<b>3.100</b>

Fonte: ELSEVIER BV, 2018a; ELSEVIER BV, 2018b; JOHN W & SONS, 2018; REUTERS, 2018.

**Tabela 4** - Resultado das buscas por: (“impervious surface”) AND (flood\*).

Base de Dados	Retorno
<i>Web of Science</i>	66
Scopus	225
<i>Wiley Online Library</i>	457
<i>Science Direct</i>	1.625
Scielo	-
<b>TOTAL</b>	<b>2.373</b>

Fonte: ELSEVIER BV, 2018a; ELSEVIER BV, 2018b; JOHN W & SONS, 2018; REUTERS, 2018.

Após a realização destas análises, optou-se por uma quarta combinação de palavras-chaves (Tabela 5) para seguir com o levantamento bibliométrico. Não foi delimitado um período específico para a busca, com o intuito de avaliar o alcance temporal da produção científica em torno do tema.

**Tabela 5** - Resultado das buscas por: (“*impervious surface*”) AND (*flood\**) AND (*geoprocessing* OR “*remote sensing*”).

Base de Dados	Retorno
<i>Web of Science</i>	7
Scopus	37
<i>Wiley Online Library</i>	140
<i>Science Direct</i>	190
Scielo	1
<b>TOTAL</b>	<b>375</b>

**Fonte:** ELSEVIER BV, 2018a; ELSEVIER BV, 2018b; FAPESP et al., 2018; JOHN W & SONS, 2018; REUTERS, 2018.

### 2.2.2 Refinamento das buscas

De posse das publicações retornadas, com a *string* (“*impervious surface*”) AND (*flood\**) AND (*geoprocessing* OR “*remote sensing*”), seguiu-se o processo de refinamento da busca. Essa combinação sintetiza a correlação entre as palavras chaves (causa – efeito – ferramenta). O critério de análise compreendeu as seguintes etapas (Tabela 6):

**Tabela 6** - Critério de seleção das publicações.

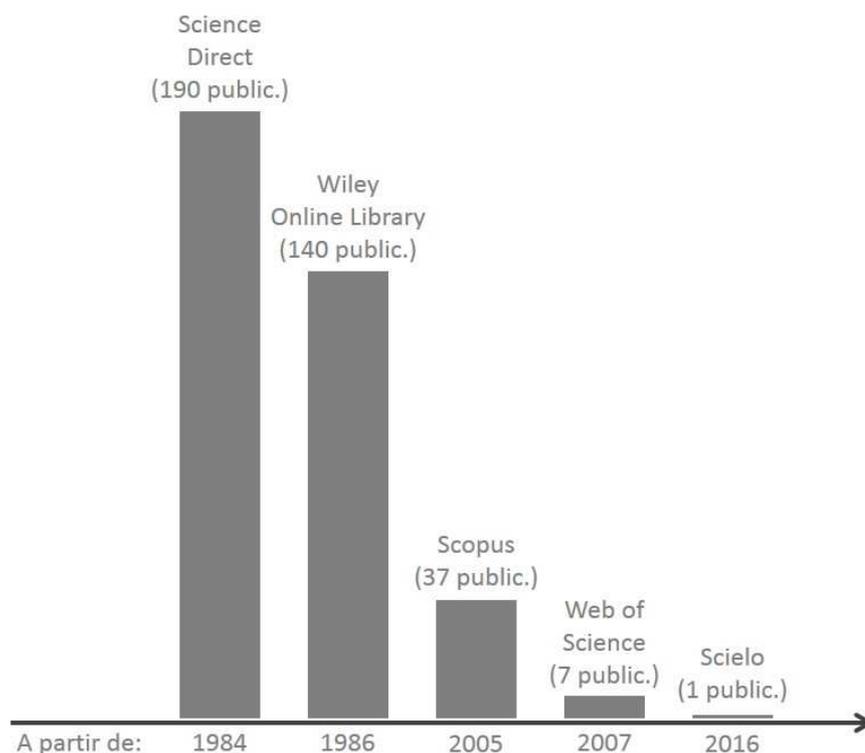
Critério	Manter	Excluir	Motivo
Leitura de todos títulos		X	Duplicidade Sem aderência aos objetivos dessa pesquisa
Leitura de todos resumos		X	Objetivos diferentes desta pesquisa
Leitura dos textos completos	X		Leitura e análise dos trabalhos na íntegra

Para que as informações bibliográficas das publicações fossem organizadas foi utilizado software EndNote, versão X5 (REUTERS, 2011). Dessa forma, foi possível não só reunir e gerenciar as informações, como também organizá-las em grupos de acordo com os critérios de seleção.

### 2.3. Resultados e Discussões

Ao todo foram localizadas 375 publicações, sendo 352 artigos, quatro capítulos de livros e 19 resumos de simpósios e ou conferências envolvendo as geotecnologias nos estudos das áreas urbanas sujeitas à inundações e alagamentos. A maior parte das publicações estava disponível nas bases *Wiley Online Library* e *Science Direct* (Figura 1).

**Figura 1** - Distribuição temporal das publicações por base pesquisada.



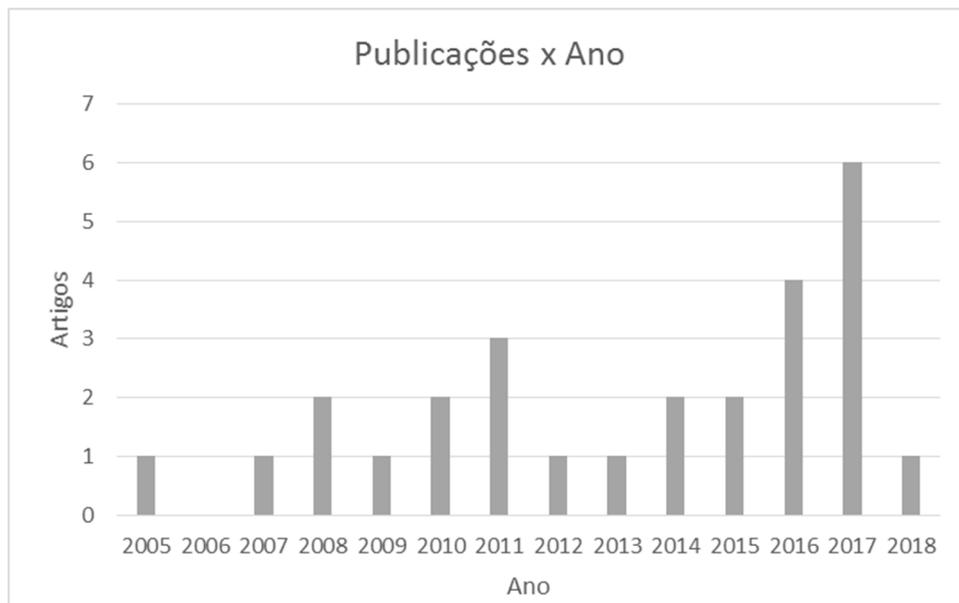
**Fonte:** ELSEVIER BV, 2018a; ELSEVIER BV, 2018b; FAPESP et al., 2018; JOHN W & SONS, 2018; REUTERS, 2018.

Realizada a triagem inicial e após a exclusão das publicações que retornaram em duplicidade, na maioria dos casos por divergências na escrita dos nomes dos autores ou do próprio título, os resultados passaram de 375 para 358. Como o objetivo

desse estudo foi localizar publicações que abordassem o uso das geotecnologias em análises urbanas, foram avaliados os títulos de cada trabalho e assim excluídas as publicações que abordavam temas como: deslizamentos de terra ou montanhas, áreas agrícolas, geleiras, cidades costeiras, áreas suscetíveis a tremores de terra, entre outros. Nesta etapa as publicações de interesse passaram para 147.

Em seguida foram avaliados todos os resumos e identificados quais trabalhos tinham relação direta com o objeto de estudo desta pesquisa. Esse refinamento das buscas proporcionou diversas análises e culminou no encontro de 27 publicações com os textos completos disponibilizados. Destaca-se que 25 são artigos de revistas e dois resumos de conferências. Todos os textos selecionados para análise foram publicados a partir do ano de 2005 (Figura 2).

**Figura 2** - Distribuição das 27 publicações (artigos e resumos de conferências) por ano nas cinco bases de dados analisadas.



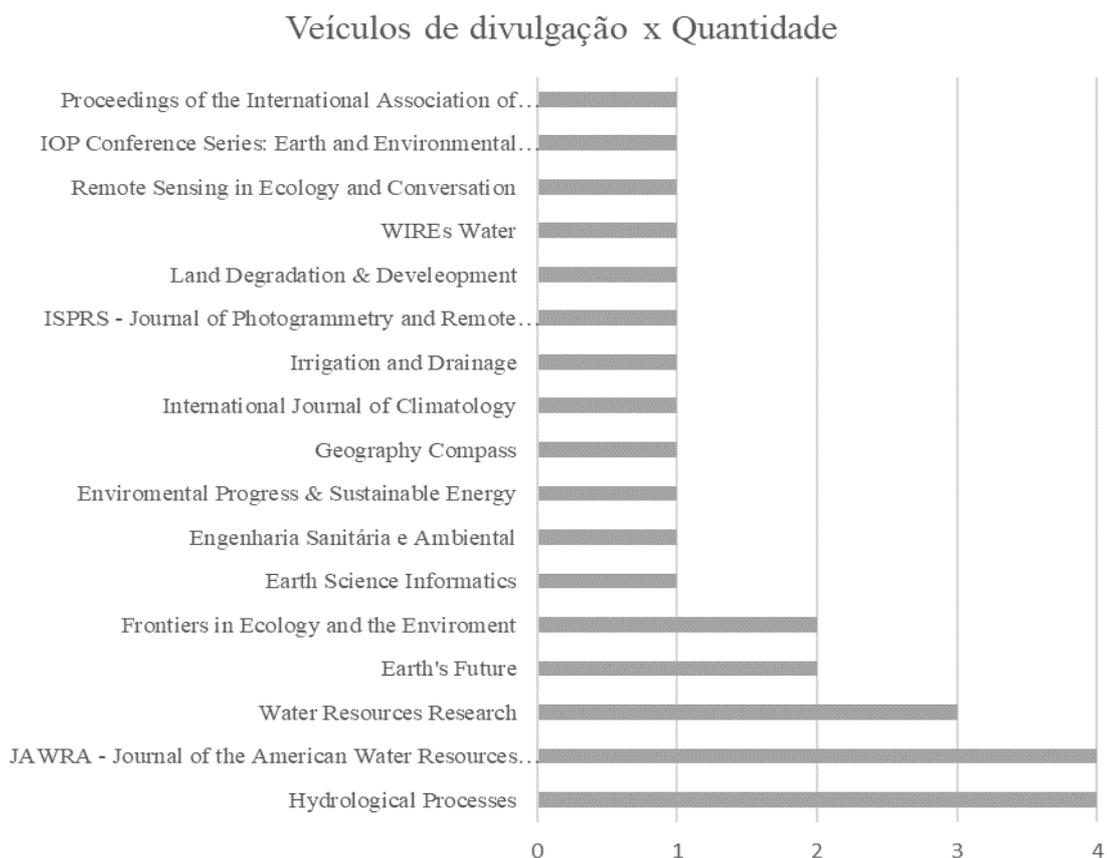
**Fonte:** ELSEVIER BV, 2018a; ELSEVIER BV, 2018b; FAPESP et al., 2018; JOHN W & SONS, 2018; REUTERS, 2018.

Observa-se que não foram localizadas publicações no ano de 2006, por outro lado registrou-se um aumento progressivo a partir de 2014, saltando de duas para seis publicações até 2017. É importante ressaltar que o ano de 2018 abrangeu apenas três meses, pois as buscas encerraram-se no mês de março, sendo este o provável motivo para o baixo retorno de trabalhos para este ano.

Com relação aos veículos de divulgação (Figura 3), verificou-se alta concentração dos produtos em duas revistas: *Journal of the American Water Resources Association* (JAWRA) e *Hydrological Processes* com quatro artigos cada. Essas revistas estão indexadas na base *Wiley Online Library*. Ou seja, apesar da base *Science Direct* apresentar um retorno inicial maior, isso não garantiu o maior número de publicações selecionadas.

Quanto aos objetivos de cada uma das publicações, notou-se um certo padrão nas abordagens. Com isso, foram criados cinco grupos distintos para categorizar, dentro da temática geral, as diferentes formas de utilização das geotecnologias nas 27 publicações. Os dados analisados e tabulados foram: abordagem da pesquisa; área do conhecimento dos autores; país e ano da publicação.

**Figura 3** - Relação entre quantidade de produtos e veículos de divulgação.



Nos três primeiros estudos classificados (Tabela 7), os autores detiveram-se na possibilidade da utilização das geotecnologias para organizar dados de distribuição espacial e calcular parâmetros hidrológicos e hidráulicos. No caso do artigo de publicação brasileira, foram também abordados mecanismos para medição do

desempenho de medidas estruturais e não estruturais através da simulação de modelos hidrológicos.

**Tabela 7** - Grupo das publicações relacionadas a cálculos hidrológicos e hidráulicos.

Abordagem	Área do conhecimento Autores/public.	País/publicação	Ano	Quant.
Cálculo de parâmetros hidrológicos e hidráulicos	Ecologia Geografia	Costa rica EUA	2005	3
	Eng. Ambiental Eng. Civil	Brasil	2016	
	Geografia	Indonésia	2017	

No próximo grupo foram reunidos quatro artigos (Tabela 8) cujo objetivo principal foi identificar as áreas impermeáveis que geram os problemas das cheias urbanas, através do uso das geotecnologias. Em um dos artigos foi encontrado o mais alto grau de interdisciplinaridade entre seus autores, totalizando dez áreas diferentes.

**Tabela 8** - Grupo das publicações que enfatizaram o uso das geotecnologias para a detecção de áreas impermeáveis.

Abordagem	Área do conhecimento Autores/public.	País/publicação	Ano	Quant.
Utilização do SR e GIS para detecção de áreas impermeáveis	Geografia Tec. Geoespaciais	EUA	2011	4
	Sociologia Biologia Ecologia Eng. Civil Eng. Ambiental Plan. Urbano Arq. E urbanismo Plan. Ambiental Economia Ciencias Atmosférica	EUA	2015	
	Eng. Ambiental	Dinamarca	2015	
	Ciências da terra Ciências ambientais Biologia	EUA	2016	

Na sequência foram reunidos outros três trabalhos (Tabela 9), cujos estudos relacionam os benefícios da abordagem sistêmica nos projetos de intervenção de áreas urbanas sujeitas às inundações. Trata-se de uma linha metodológica de projeto conhecida como desenvolvimento de baixo impacto (LID – *low impact development*) ou infraestrutura verde (GI – *green infrastructure*). Essa abordagem visa à adoção de parâmetros do design adaptativo (Infraestrutura Verde) às diferentes condições de cada região. Com isso, procura-se explorar a capacidade de resiliência do meio urbano frente aos desafios da urbanização.

**Tabela 9** - Grupo das publicações relacionadas à Infraestrutura Verde.

Abordagem	Área do conhecimento Autores/public.	País/publicação	Ano	Quant.
LID ( <i>low impact development</i> ) e GI ( <i>green infrastructure</i> )	Eng. Civil Eng. Ambiental	EUA	2014	3
	Eng. Civil Biologia Mecânica	EUA	2017	
	Eng. Ambiental	EUA	2018	

Os próximos estudos (Tabela 10) apresentaram objetivos específicos ao examinarem os impactos que as mudanças de uso e cobertura do solo (LUCC – *Land Use Cover Change*) acarretam nos processos hidrológicos e ecossistêmicos de uma bacia hidrográfica.

As últimas onze publicações (Tabela 11), buscaram metodologias de análises, estas capazes de traçar um diagnóstico das áreas urbanas sujeitas às inundações, conciliando seus diferentes padrões e tipologias. Entre esses estudos são abordadas escalas distintas de observação, no entanto, todos visaram identificar quais são os aspectos mais relevantes e que influenciaram direta ou indiretamente nas questões urbanas, possibilitando respostas de intervenção.

**Tabela 10** - Grupo das publicações centradas nos impactos gerados pela mudança do uso e ocupação do solo.

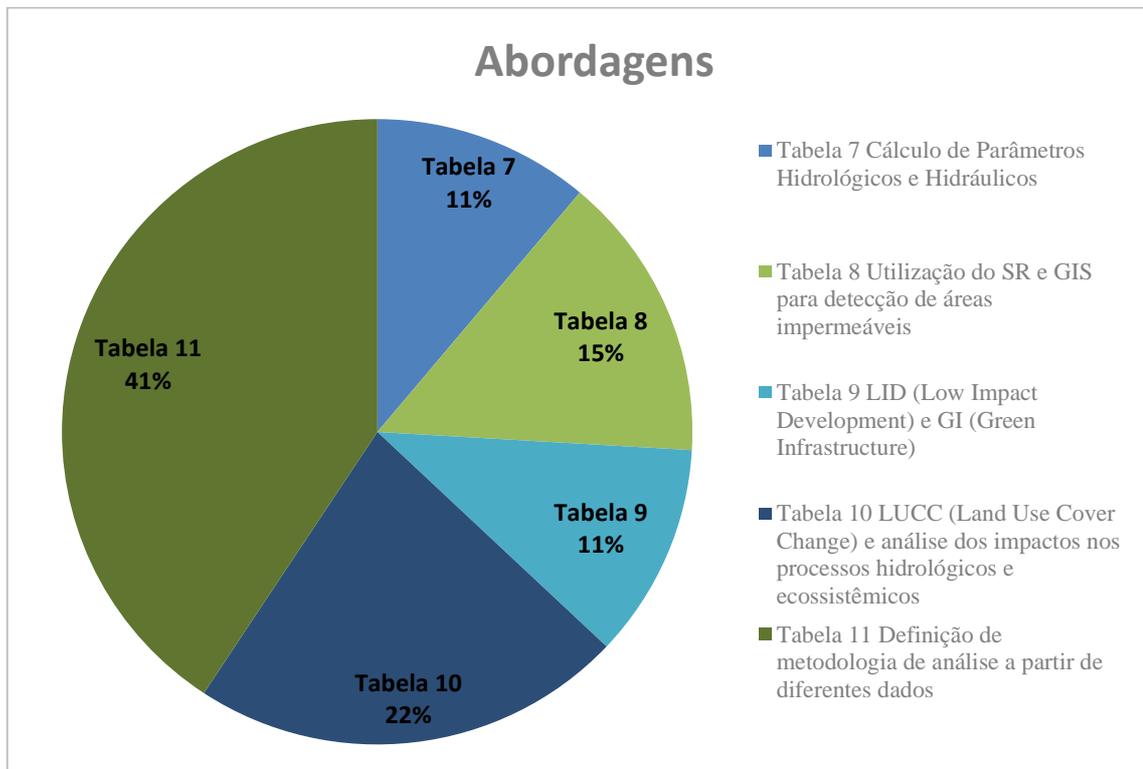
Abordagem	Área do conhecimento Autores/public.	País/publicação	Ano	Quant.
LUCC ( <i>Land Use Cover Change</i> ) Análise dos impactos nos processos hidrológicos e ecossistêmicos	Ecosistemas Ciências florestais Geografia	EUA	2008	6
	Eng. Civil e ambiental	EUA	2010	
	Eng. Civil e ambiental	EUA	2010	
	Inst. Meteorológico	Bélgica	2011	
	Recursos Naturais Ecologia Biologia Ciências da Terra e Ambiental	EUA	2014	
	Ecologia Urbana e Regional Ciências Ambientais	China	2016	

**Tabela 11** - Grupo das publicações relacionadas às metodologias de análise de risco.

Abordagem	Área do conhecimento Autores/public.	País/publicação	Ano	Quant.
Definição de metodologia de análise a partir de diferentes dados (topografia, ecologia, estatística, entre outros)	Eng. Agric. e Biologia Ciências da terra	EUA	2007	11
	Estudos ecossistêmicos	EUA	2008	
	Biologia Eng. Ambiental	EUA	2009	
	Eng. Agric. e Biologia Geografia Sensoriamento remoto Estudos ecossistêmicos	EUA Uzbequistão Alemanha Reino unido Índia	2011	
	Eng. Civil Geografia	Itália Reino unido	2012	
	Eng. Rec. Hídricos e ecológicos	EUA	2013	
	Planejamento urbano	EUA	2016	
	Geografia	EUA	2017	
	Ciências ambientais	Japão	2017	
	Gestão ambiental	EUA	2017	
	Ciência da terra e ambiental	EUA	2017	

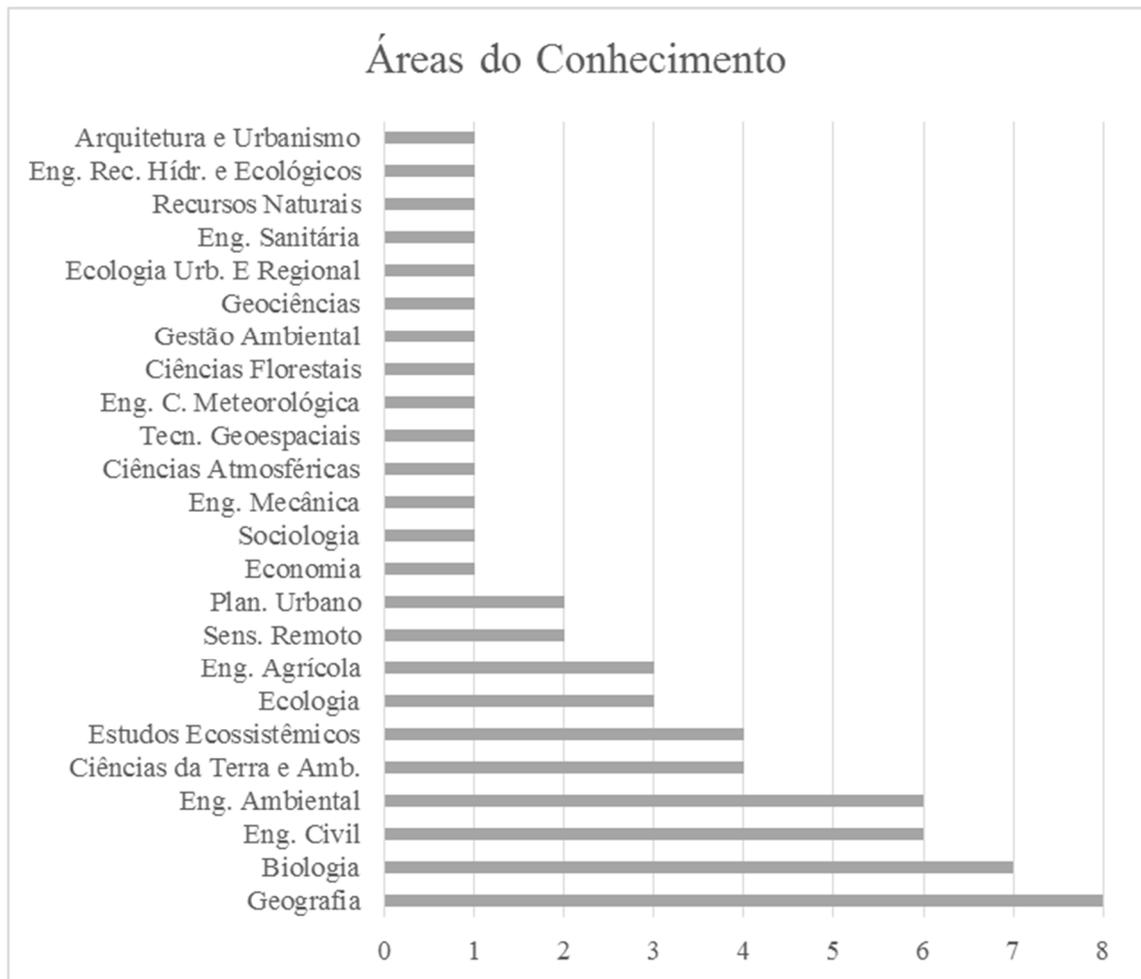
Em síntese, as abordagens analisadas demonstraram o alto potencial das geotecnologias para definir metodologias de aplicação e resolução de problemas. Dessa forma, os estudos relacionados à definição de metodologias de análises a partir de diferentes dados, demonstraram maior representatividade frente aos demais grupos (Figura 4).

**Figura 4** –Representatividade das abordagens em relação às 27 publicações analisadas.



Ao avaliar a formação acadêmica dos 122 autores envolvidos nas 27 publicações, encontrou-se 25 áreas de formação diferentes. A geografia foi a área com maior número de trabalhos publicados, oito no total, seguido da biologia com sete. As áreas de Planejamento Urbano e Sensoriamento Remoto estiveram representadas com apenas dois artigos cada, o que gera questionamentos quanto à forma que os resultados das pesquisas dessas áreas têm sido divulgados, visto a sua fortíssima correlação com o objeto de estudo. Observa-se ainda que outras 15 áreas (Figura 5) estiveram representadas por apenas uma publicação cada, dentre elas Arquitetura e Urbanismo.

**Figura 5 - Áreas de formação dos autores.**



## 2.4. Conclusão do Capítulo I

Das 375 publicações iniciais, chegou-se a 27, cujos dados coletados permitiram a compreensão e o delineamento de um panorama geral sobre como as geotecnologias têm auxiliado as pesquisas do meio urbano, suscetível a inundações e alagamentos. Foram identificadas cinco abordagens diferentes para este tema, além de 25 áreas do conhecimento envolvidas no desenvolvimento destas pesquisas.

Dos 122 autores apenas um tinha como formação acadêmica a Arquitetura e Urbanismo. Esse dado reflete a baixa produtividade científica deste grupo, voltada a essa área do conhecimento. No Brasil, faz parte das atribuições e competências do arquiteto e urbanista o planejamento urbano e regional, a utilização racional dos recursos disponíveis e o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

Observou-se que o país com o maior número de publicações são os Estados Unidos, com 70% dos artigos. E, embora o Brasil tenha figurado na lista dos artigos analisados, a quantidade de estudos indexados nas bases citadas apresentou-se de maneira insignificante, se comparada às necessidades da maioria das cidades brasileiras.

Em todas as publicações ficou caracterizado que o uso das geotecnologias fornece subsídios importantes para a identificação de áreas de conflito ambiental. Conclui-se ainda que tais ferramentas são decisivas para a espacialização, de maneira acurada, dos diferentes graus de impermeabilização de uma região. O que se configura como um meio eficiente para definição de estratégias de planejamento e gestão da paisagem urbana.

### **3. APLICAÇÃO DE ÍNDICES ESPECTRAIS NA ESPACIALIZAÇÃO DE ÁREAS URBANAS IMPERMEÁVEIS.**

#### **3.1. Introdução**

As superfícies impermeáveis têm como característica principal a impossibilidade de infiltração das águas pluviais no solo. Dessa forma, o volume de água que deixa de infiltrar fica na superfície e gera o escoamento superficial (TUCCI, 2003). Em condições de desequilíbrio o aumento significativo do escoamento superficial ocasiona maior vazão de pico dos afluentes, sobrecarregando a vazão total da bacia e provocando problemas de inundações e alagamentos (JENSEN, 2011).

Áreas naturais impermeáveis, geralmente, dispõem de estruturas próprias de autorregulação. Por outro lado, as superfícies impermeáveis decorrentes dos processos antropogênicos podem apresentar condições desfavoráveis tanto ao ambiente como aos que nele vivem. Dessa forma, é premente a compreensão dos processos que levam a esse quadro e da busca por mecanismos de mitigação.

A expansão urbana é considerada como o principal fator nas mudanças de longo prazo do escoamento superficial. Além disso, a progressão exponencial da impermeabilização do solo afeta a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos essenciais, como a produção de alimentos, a capacidade de filtragem de água, e reabastecimento dos aquíferos, entre outros (ARNOLD & GIBBONS, 1996).

A proporção de superfícies impermeáveis pode configurar como um indicador chave das condições ecossistêmicas de uma região, pois ao evitar que as águas pluviais infiltrem no solo, inúmeros impactos sobre as características hidrológicas e térmicas da bacia hidrográfica são desencadeados (HAMDI et al., 2011, POK et al., 2017). É possível adotar medidas de controle sustentáveis que recuperem, ao menos em parte, a capacidade de infiltração ou a detenção do escoamento adicional gerada pelas superfícies urbanas (TUCCI E GENZ, 1995, TUCCI, 2003).

Neste contexto, as geotecnologias têm sido amplamente utilizadas para coletar, processar e analisar dados resultantes da expansão urbana no meio físico natural. Elas permitem, por exemplo, gerar dados em larga escala resultando em informações confiáveis a partir de dados digitais. O uso do sensoriamento remoto permite o monitoramento das alterações na superfície terrestre, além de reduzir custos frente

aos métodos de mapeamento tradicionais (GAMARRA et al., 2016, SAKUNO et al., 2017).

Inúmeros trabalhos já foram desenvolvidos visando extrair informações sobre superfícies impermeabilizadas a partir de dados de sensoriamento remoto. O uso de sensores multiespectrais contribui com a aquisição de dados confiáveis e em um curto espaço de tempo. Uma das técnicas do sensoriamento remoto mais utilizadas em estudos ambientais é a geração e o uso de índices espectrais (JENSEN, 2011). No âmbito do planejamento urbano eles caracterizam-se como fontes alternativas na produção de dados, que podem subsidiar políticas e programas com informações estratégicas (PEREIRA, 2018).

Dentre os vários índices espectrais, já consagrados na literatura, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, sigla em inglês) e o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI, sigla em inglês), destacam-se pela eficiência e qualidade dos dados gerados. Baseados nestes dois índices foram modelados dois métodos para a análise de superfície impermeável: o Índice de Superfície Urbana Impermeável (USWI, sigla em inglês) e o Índice de Superfície Impermeável (SWI, sigla em inglês) (PEREIRA, 2018). Assim, o objetivo deste trabalho foi mapear a impermeabilização do solo de uma Bacia Hidrográfica Urbana, utilizando os índices USWI e SWI.

## **3.2. Procedimentos Metodológicos**

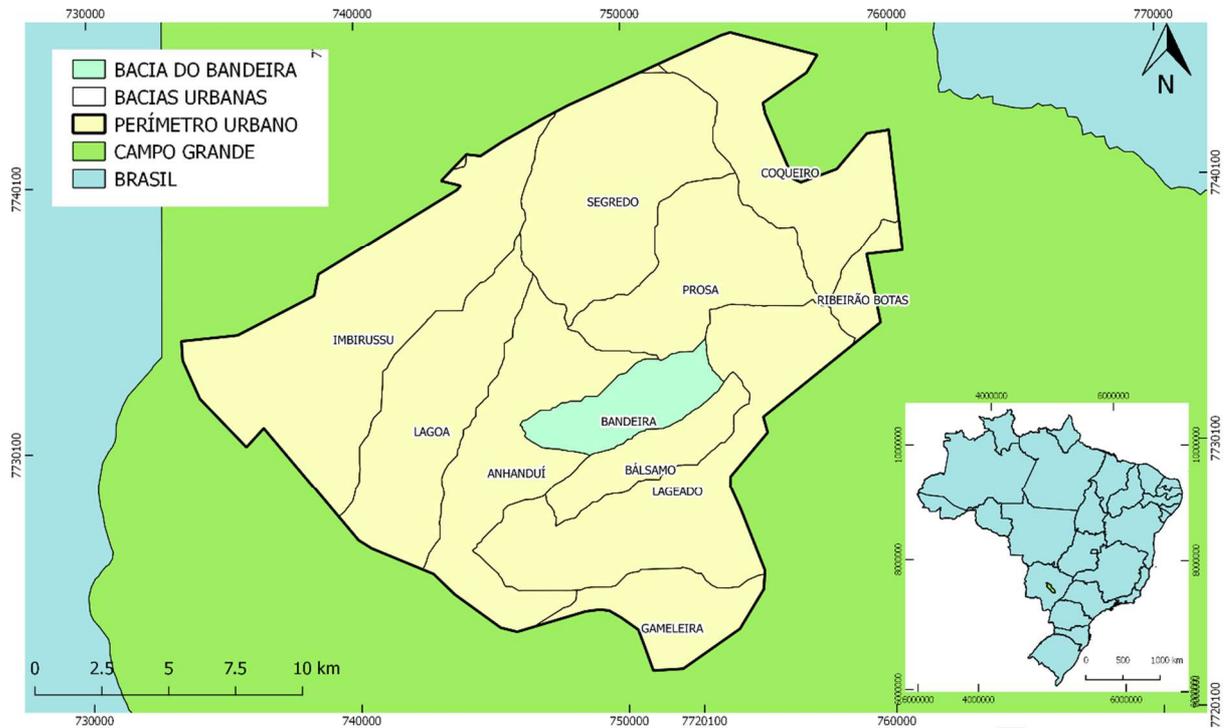
### **3.2.1 Área de Estudo**

A área de estudo de aplicação dos índices foi a Bacia Hidrográfica do córrego Bandeira (PMCG, 2017 - ver anexo B), localizada dentro do perímetro urbano do Município de Campo Grande – MS. Ela faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, apresenta uma área de 15,24 km<sup>2</sup> e está inserida em duas regiões urbanas, a do Bandeira e a do Anhanduizinho (Figura 6).

Fazem parte desta bacia 14 bairros, sendo que apenas dois estão integralmente inseridos: Vila Carlota e Dr. Albuquerque. Os demais, Parati, Pioneiros, Aero Rancho, Piratininga, Universitário, Rita Vieira, Jd. Paulista, TV Morena, Jd. América, São Lourenço, Vilas Boas e Tiradentes possuem apenas parte de seus

territórios compreendidos na bacia. Seus corpos hídricos são: os córregos Cabaça, Portinho Pache e Bandeira; a Lagoa Itatiaia e o Lago do Amor (PLANURB, 2017).

**Figura 6 – Localização da área de estudo**



**Fonte:** Shapefile: SIMGEO, 2018. Projeção/DATUM: SIRGAS 2000 zona 21S e Policônica SIRGAS 2000.

Dentre as 11 bacias hidrográficas contidas no perímetro urbano, esta foi selecionada para análise pelas suas características urbanísticas e diversidade tipológica de áreas verdes. Ao longo de toda bacia é possível encontrar residências unifamiliares, em condomínios ou isoladas no lote, blocos e torres de apartamentos, vias pavimentadas e sem pavimento, além de galpões de uso comercial e industrial. Estes elementos representam parte da impermeabilização de uma cidade.

Segundo a Carta Drenagem do Município (PMCG, 2017 - ver anexo C), a bacia do Bandeira apresenta o grau um de criticidade, isso significa que a bacia está propensa à alagamentos, inundações e enchentes em vários pontos. Entre as recomendações gerais para o controle desses problemas o documento cita várias medidas que visam a dissipação de energia das águas pluviais (PLANURB, 2017).

Por outro lado, possui uma variedade de áreas verdes, que se diferenciam tanto pelo porte como pela função. São três parques lineares (Pq Linear Juscelino Kubitschek e Pq Linear Bandeira I e II), totalizando 44,04ha, uma Reserva Particular

de Patrimônio Natural (RPPN) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), com 50,11h (PLANURB, 2017), além de várias praças e grandes áreas urbanizadas, porém sem edificações construídas. Estes espaços funcionam como dispositivos de regulação do ciclo hidrológico da bacia, podendo auxiliar na proteção da biodiversidade e manutenção dos serviços ecossistêmicos. Essas características de permeabilidade foram observadas para garantir maior contraste entre os resultados.

A região caracteriza-se pelo predomínio do uso residencial, com aproximadamente de 33.000 habitantes (PLANURB, 2017). Observa-se uma tendência de expansão na ocupação de bairros ao norte da bacia como Rita Vieira, Vilas Boas e parte do Tiradentes devido a recentes obras de urbanização na região. Por toda bacia é possível verificar áreas propensas a receber grandes empreendimentos imobiliários, seja pela proximidade com a cidade universitária da UFMS, seja pela lógica de ocupação dos fundos de vale da cidade.

### **3.2.2 Seleção das imagens e obtenção de dados**

Para selecionar a imagem que melhor representasse a área de estudo em época de estiagem foram verificados produtos entre os meses de junho à setembro. Como mencionado no trabalho de Walter (2006), o Cerrado é caracterizado por invernos secos e verões chuvosos, sendo que esse fator exerce influência direta sobre a vegetação. A seleção da imagem que melhor representasse o período de seca serviu para não mascarar os resultados das respostas espectrais das imagens, ou seja, não potencializar o vigor da fitomassa comum em períodos chuvosos.

A partir das imagens acessadas e disponibilizadas gratuitamente pelo banco de imagens do *United States Geological Survey* (USGS, 2017), obteve-se uma cena do satélite LANDSAT 8, sensor *Operational Land Imager* (OLI) datada de 20/07/2017, órbita/ponto 224/076. Os produtos do USGS *Landsat Collection 1 Level-2*, já são disponibilizados com refletância de superfície, ortorretificação, correção atmosférica e resolução espacial de 30 metros.

Em algumas situações houve a necessidade de um comparativo visual com imagens de maior resolução espacial, para isso foram usadas imagens do *Google Earth* (Google, 2018). Observa-se que o uso desse recurso teve função meramente

ilustrativa, uma vez que a apuração dos dados como área e amplitude espectral ficaram condicionados aos resultados obtidos com a aplicação dos índices.

Para o processamento das imagens, geração dos índices e mapas temáticos, foram utilizados *softwares* livres de Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS versão 2.18 *Las Palmas* (QGIS, 2018), GRASS GIS versão 7.2 (GRASS, 2017), disponíveis de forma gratuita na internet. O uso dessas ferramentas permite a qualquer usuário, com um certo treinamento, gerar os dados com agilidade e precisão, sem incorrer em altos custos. Para a realização deste estudo de caso foi utilizada a metodologia desenvolvida por Pereira (2018).

Os arquivos vetoriais (*shapefile*) utilizados foram acessados a partir dos produtos disponibilizados no site da Prefeitura Municipal de Campo Grande (PMCG, 2018) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). Após a alteração do Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), *Universal Transversa de Mercator* (UTM) zona 21S, foram empilhadas as bandas espectrais em um mesmo arquivo *raster* para que posteriormente fossem calculados os índices.

### 3.2.3 Geração dos Índices Espectrais

Com o processamento digital das imagens concluído, foram calculados os índices espectrais utilizando a ferramenta calculadora *raster* no *software* QGIS. Os modelos espectrais utilizados para essa análise foram obtidos a partir da combinação dos índices já consagrados na literatura: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, sigla em inglês) e Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI, sigla em inglês). Ambos os índices são mensurados de -1 a +1.

As bandas espectrais utilizadas neste processo correspondem as bandas 3 – verde (G, sigla em inglês), 4 - vermelho (R, sigla em inglês) e 5 – infra vermelho próximo (NIR, sigla em inglês).

O NDVI (Fórmula 1) permite caracterizar parâmetros biofísicos da vegetação, como fitomassa e densidade foliar, desenvolvido por Rouse et al. (1974), que utiliza as faixas espectrais R e NIR. O cálculo do NDVI gera um arquivo *raster* onde cada *pixel* corresponde ao resultado da operação matemática entre as bandas utilizadas.

Seus resultados variam entre -1 e 1. Quanto maior a presença de fitomassa e energia (fotossíntese) da vegetação, maior serão os valores do índice. Por outro lado,

os valores próximos a zero e negativos, referem-se a áreas edificadas e corpos hídricos, respectivamente (GAMARRA et al., 2016).

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (1)$$

Onde, NIR é o valor de reflectância do infravermelho próximo e R o valor de reflectância da faixa espectral do vermelho.

O NDWI (Fórmula 2), proposto por McFeeters (1996), objetiva destacar o delineamento das feições hídricas do terreno e minimizar o restante dos alvos. Para tanto, emprega as faixas espectrais G e NIR. Os valores negativos geralmente retratam a vegetação, enquanto que os valores positivos indicam água (sendo o oposto do NDVI).

$$\text{NDWI} = (\text{G} - \text{NIR}) / (\text{G} + \text{NIR}) \quad (2)$$

Onde, NIR é o valor de reflectância do infravermelho próximo e G o valor de reflectância da faixa espectral do verde.

Com os dois índices gerados, partiu-se para a modelagem do Índice de Superfície Impermeável Urbana (USWI, sigla em inglês) e do Índice de Superfície Impermeável (SWI, sigla em inglês). O USWI é o resultado da soma dos índices NDVI e NDWI, (Fórmula 3). Seus valores positivos representaram as áreas permeáveis, e os negativos as áreas impermeáveis.

$$\text{USWI} = (\text{NDVI} + \text{NDWI}) \quad (3)$$

No SWI verifica-se uma relação inversamente proporcional entre os valores obtidos e o grau de impermeabilização do solo. Ou seja, quanto menores os valores maior é a impermeabilização do solo, e quanto maiores eles forem menor será o grau de impermeabilização no local. Seu resultado se dá através da diferença dos índices NDVI e NDWI ao quadrado (Fórmula 4). Este índice demonstra os diferentes graus de impermeabilização do solo.

$$\text{SWI} = (\text{NDVI} - \text{NDWI})^2 \quad (4)$$

### 3.2.4. Processamento dos dados

Como os produtos LANDSAT 8 (OLI) já são disponibilizadas com correção geométrica, a primeira etapa realizada após o *download* da imagem foi o empilhamento das bandas das faixas espectrais do visível e infra vermelho (bandas 1 à 7). Esse processo permite o reconhecimento dos alvos de interesse dentro da área de estudo, a partir da combinação das bandas no momento da visualização.

Na sequência, foram selecionados dez fragmentos, dentro da área de estudo, para representarem cinco amostras de áreas permeáveis e cinco de áreas impermeáveis. As dimensões dos polígonos vetoriais utilizados foram exatamente as mesmas para cada fragmento, uniformizando a quantidade de pixels analisados em cada um deles.

Para definir o que seria considerado impermeável e permeável analisou-se se o fragmento era natural ou antropizado. Partindo dessa classificação inicial procurou-se obter amostras com maior heterogeneidade possível. Sendo assim, foram identificados diferentes materiais que correspondessem as áreas permeáveis e impermeáveis.

Por exemplo, para se chegar a seleção dos cinco fragmentos das áreas impermeáveis, selecionou-se um fragmento com predominância de telhas metálicas, outro com telhas cerâmicas e assim por diante. Seguiu-se a mesma lógica para as áreas permeáveis, selecionando pontos com vegetação rasteira, arbustiva, arbórea.

Neste sentido, tanto as imagens disponibilizadas pelo *Google Earth* (Google, 2018), como a imagem LANDSAT 8 (USGS, 2017) gerada a partir do empilhamento das bandas, foram úteis para manter esse critério de seleção. A variedade de amostras permitiu verificar a amplitude de cada classe, e assim selecionar as nuances e graus de impermeabilização de acordo com as características de cada amostra.

Depois de selecionadas, as amostras foram recortadas sobre o arquivo *raster* de cada índice (NDVI, NDWI, SWI e USWI). Dessa forma, foi possível extrair os valores dos metadados separadamente, cujos valores mínimos, médios e máximos dos quatro índices serviram de base para as análises posteriores.

A partir desses resultados foi possível atribuir intervalos de valores de *pixel* de cada amostra e assim realizar o fatiamento dos valores dos quatro índices gerados. Os resultados foram confrontados com a realidade e validados na sequência. Por exemplo, observou-se os valores dos *pixels* dos corpos hídricos no NDVI eles eram negativos e próximos de -1, enquanto que no NDWI positivos e próximos de 1.

A etapa seguinte ao fatiamento e análise dos intervalos dos índices foi a realização da reclassificação da imagem com os valores do SWI e USWI, para isso utilizou-se o comando *r.reclass* do *plugin* GRASS GIS 7.2 (GRASS, 2017). As categorias foram numeradas de um a cinco e corresponderam respectivamente as seguintes áreas: muito impermeável, impermeável, intermediário, permeável e muito permeável. Esse processo possibilitou a criação dos produtos finais, ou seja uma carta temática que demonstra os diferentes graus de impermeabilização do solo (SWI) e a uma outra que define os locais que são permeáveis e impermeáveis (USWI). Além disso, foi possível também obter as áreas de cada classe.

### **3.3. Resultados e Discussões**

Pelo fato das amostras terem sido selecionadas a partir dos diferentes materiais contidos nas áreas permeáveis e impermeáveis, como por exemplo edificações com telhas cerâmicas e metálicas, asfalto, áreas vegetadas com espécies de diferentes portes (arbóreas, arbustivas e gramados), obteve-se uma faixa de valores espectrais consideravelmente extensa.

Isso quer dizer que os resultados obtidos em uma área impermeável composta majoritariamente de construções com cobertura metálica, apresentou respostas diferentes se comparadas a uma área com cobertura cerâmica. Portanto, a escolha de alvos de mesma classe (permeável e impermeável), mas com diferentes assinaturas espectrais, auxiliaram na interpretação final dos índices.

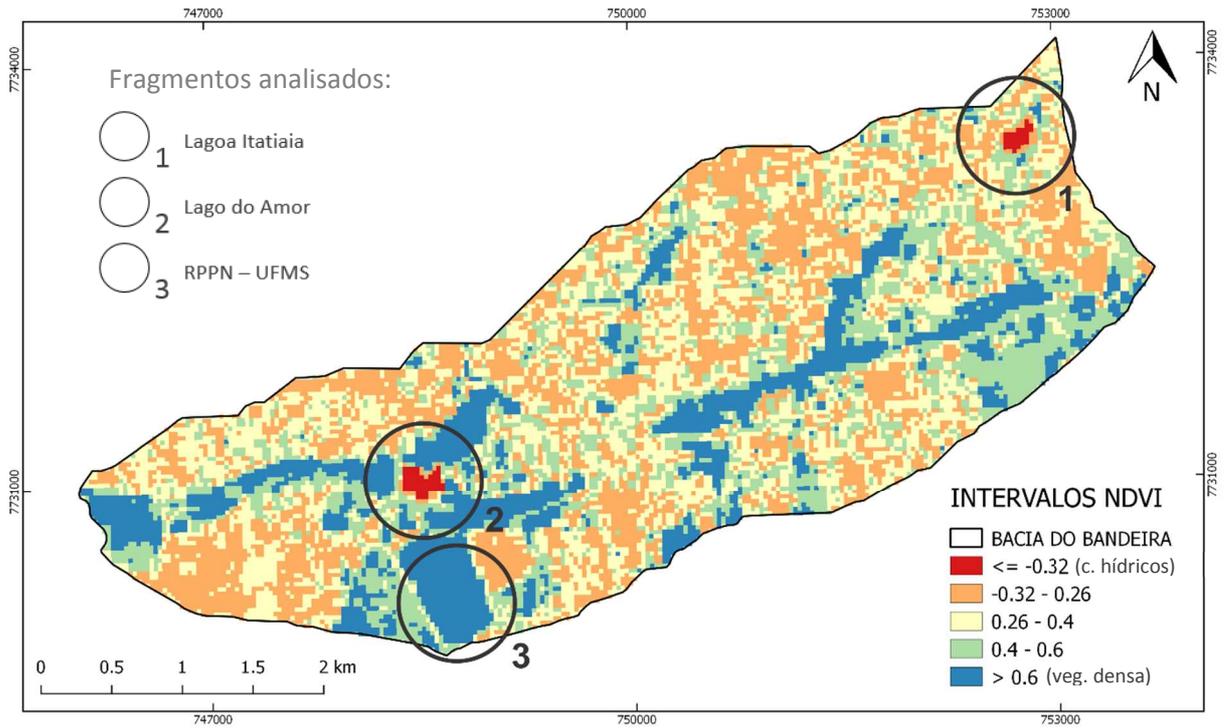
A obtenção dos índices e na sequência o recorte das amostras geraram dados que permitiram avaliar essa variação espectral dentro da área de estudo. Os dados referentes aos valores mínimos e máximos de cada amostra foram tabulados e dispostos em intervalos de pixels. Ao serem aplicados nas imagens, através do fatiamento, destacaram feições de áreas naturais e construídas que serviram para validar os resultados alcançados.

Analisando o fatiamento do NDVI e do NDWI (Figuras 7 e 8), percebeu-se a correlação entre os resultados apresentados e a realidade, sendo que em alguns pontos específicos essa correspondência apresentou-se de maneira enfática. A resposta espectral de corpos hídricos no NDVI corresponde aos valores negativos próximos a menos um, tal como constatado nas imagens analisadas. Com relação ao

NDWI acontece exatamente o oposto, ou seja, esses alvos são representados pelos valores positivos, próximos a um.

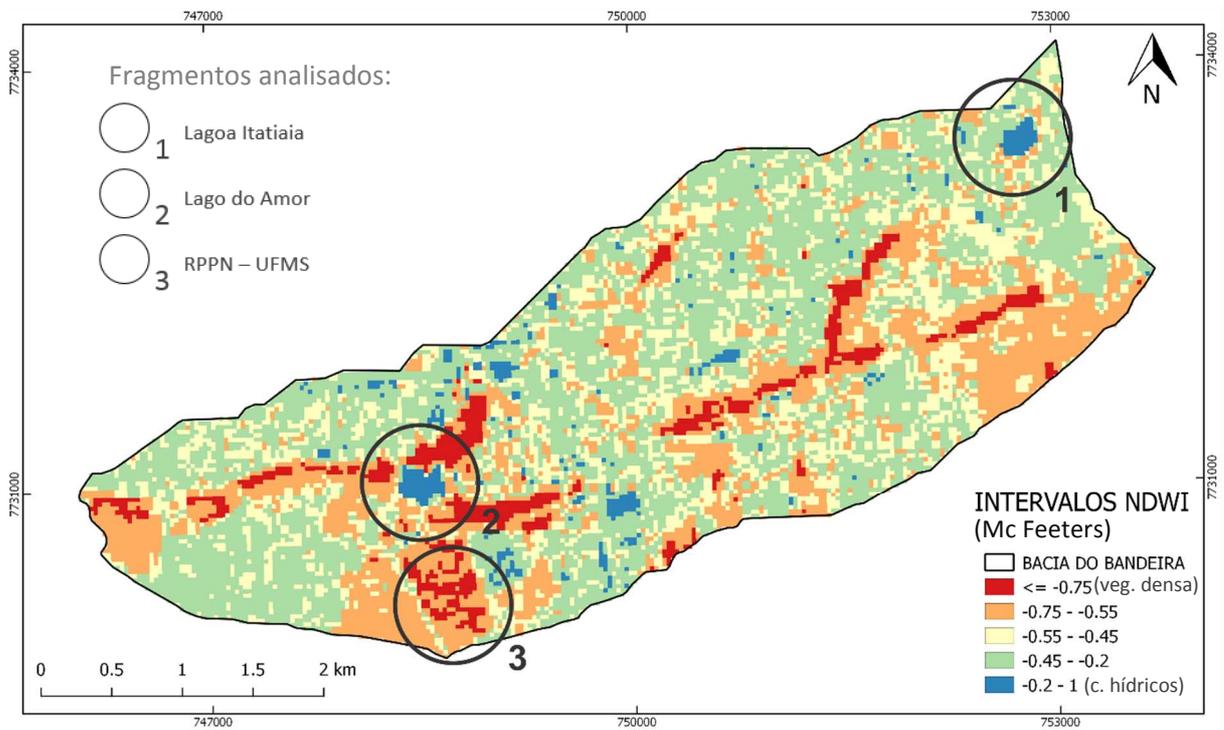
Dessa forma, foi possível identificar como elementos de validação desses índices os corpos hídricos, Lagoa Itatiaia (ponto 1) e Lago do Amor (ponto 2), e a área que corresponde a vegetação da RPPN da UFMS (ponto 3). Observou-se que em ambos os índices os valores chegaram próximos aos definidos na literatura.

**Figura 7 – Fatiamento dos valores do NDVI**



Fonte: Shapefile: SIMGEO, 2018. Projeção/DATUM: SIRGAS 2000 zona 21S.

**Figura 8 – Fatiamento dos valores do NDWI**



Fonte: Shapefile: SIMGEO, 2018. Projeção/DATUM: SIRGAS 2000 zona 21S.

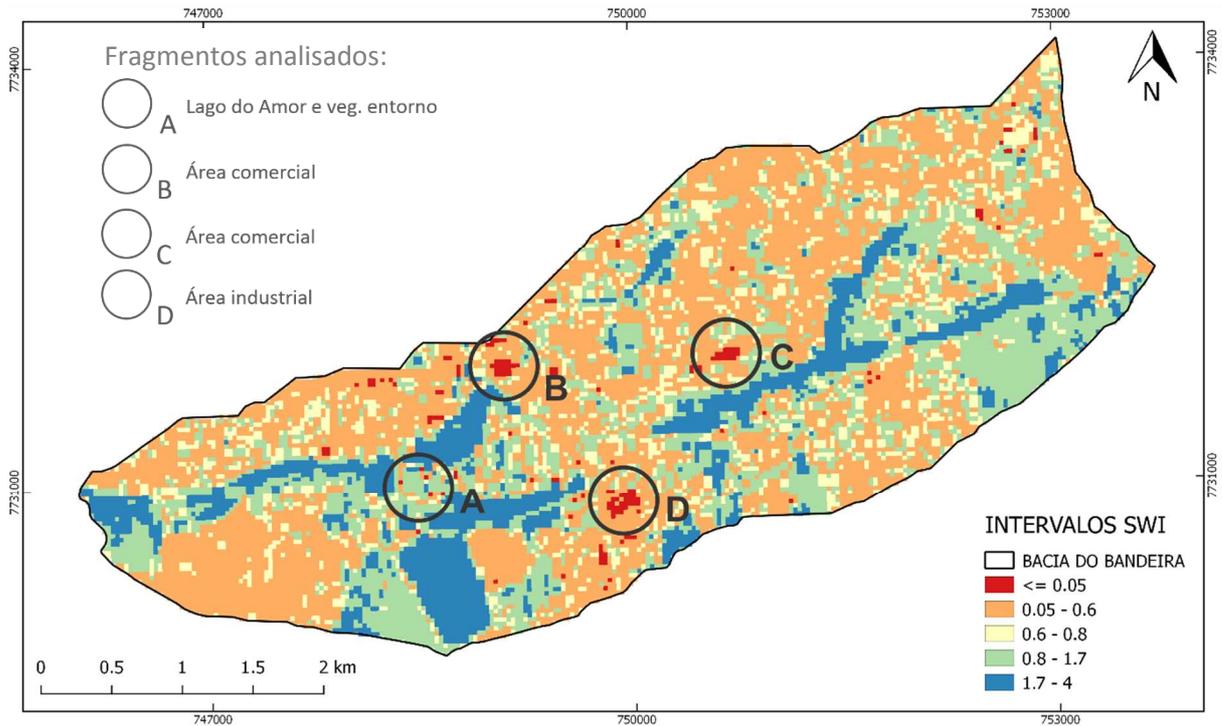
Conforme expõe Pereira (2018), o SWI é menos sensível a variação de impermeabilidade em relação a alvos artificiais (construções, ruas, telhados), podendo ser esse o motivo da área urbanizada ter se apresentado de maneira tão homogênea. Quanto mais próximos de zero forem os valores obtidos pela expressão matemática, maior será o grau de impermeabilidade. Por outro lado, o índice apresenta grande aptidão para captar a variação de permeabilidade entre alvos naturais (solo exposto, corpos hídricos e vegetação).

Corroborando ainda com os resultados apresentados pela mesma autora, nesta aplicação o SWI expôs diferenças importantes entre os alvos naturais (Figura 9). Observou-se que o ponto onde encontra-se o Lago do Amor e a vegetação do entorno (ponto A) obtiveram uma variação no grau de permeabilidade.

Ao comparar as respostas espectrais do método SWI entre o Lago do Amor e a Lagoa Itatiaia, nota-se uma diferença quanto aos intervalos de valores espectrais. Tal fato pode estar relacionado à várias causas, como por exemplo profundidade, presença de sedimentos, presença excessiva de macrófitas, características dos materiais que compõem o entorno de ambos os corpos hídricos.

Outro resultado interessante foi a detecção do grau máximo de impermeabilização em construções de porte maior que 1.000m<sup>2</sup> e com cobertura metálica. Ao longo de toda bacia foram localizados vários *pixels* com essa resposta espectral, ou seja o modelo foi capaz de detectar várias construções com essas características. Três alvos destacaram-se e reforçaram esse comportamento, devido as suas dimensões (Figura 10 – pontos B, C e D).

Essa resposta do índice pode ser considerada um importante indicador de prioridade para ações mitigatórias em pontos específicos da bacia hidrográfica. Além disso, todo entorno pode ser monitorado e sujeito à medidas compensatórias de controle do escoamento superficial.

**Figura 9** – Fatiamento dos valores do SWI.

Fonte: Shapefile: SIMGEO, 2018. Projeção/DATUM: SIRGAS 2000 zona 21S.

**Figura 10** – Alvos com grau máximo de impermeabilização no método SWI

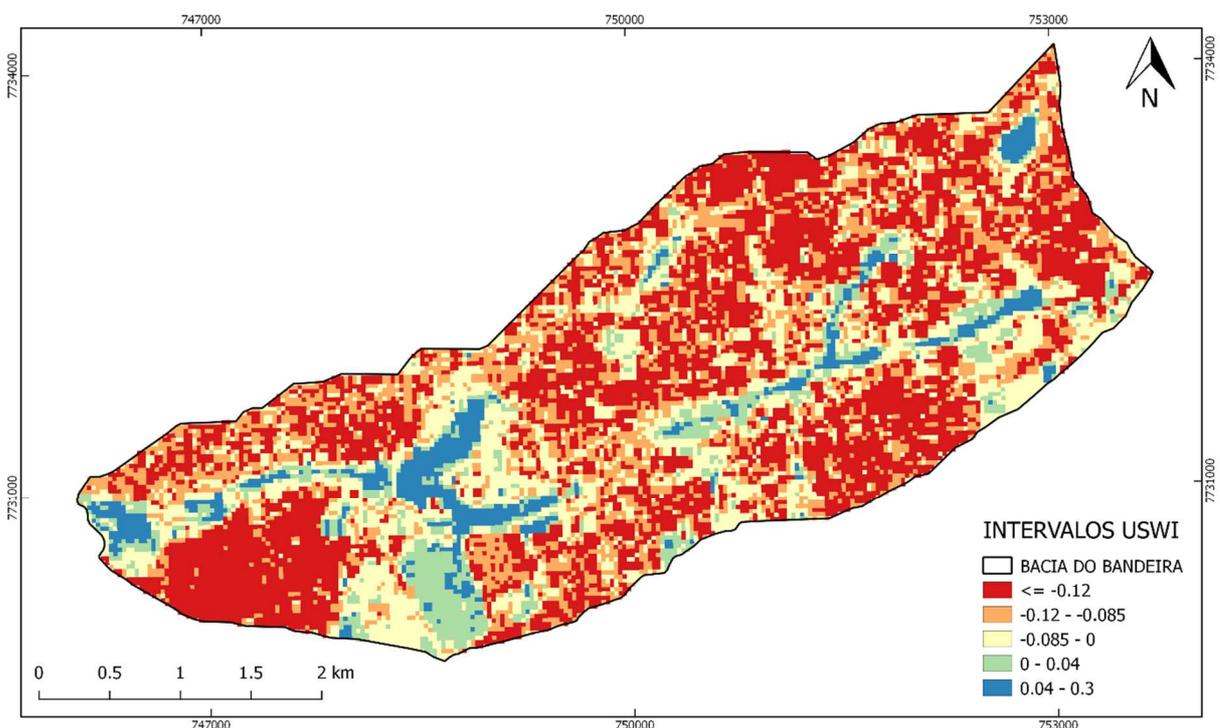
Fonte: Imagens Google Earth, 2018

Esses alvos foram apontados pelo SWI como extremamente impermeáveis, no entanto não obtiveram a mesma resposta no USWI, ou seja não foram caracterizados com o grau máximo de impermeabilização. Analisando as imagens e os valores dos pixels nos dois modelos, observa-se uma resposta espectral semelhante entre esses alvos, sendo que mais adiante serão aqui demonstrados.

O USWI (Figura 11) associa a impermeabilização do solo aos alvos antropizados (grandes construções, asfalto, calçadas), enquanto que alvos naturais (corpos hídricos, vegetação, solo úmido) são associados a permeabilidade do solo (PEREIRA, 2018). Estas características do índice traduziram-se em uma variação imperceptível dos resultados nos alvos naturais, apresentando grau de permeabilidade similar entre os pontos com corpos hídricos (lago e lagoa) e vegetação.

Os locais identificados com altos índices de ocupação do solo e áreas construídas ficaram nitidamente destacados com relação a outros de ocupação mais difusa. Isto significa que estes pontos tiveram uma concentração de pixels com valores negativos e acima de  $-0,12$ . Observa-se que os valores negativos do intervalo representam as áreas impermeáveis, enquanto que acima de zero áreas permeáveis.

**Figura 11** – Fatiamento dos valores do USWI.



**Fonte:** Shapefile: SIMGEO, 2018. Projeção/DATUM: SIRGAS 2000 zona 21S.

Foram comparadas as respostas espectrais dos alvos de grande porte (acima de  $18.000\text{m}^2$ ) e compostos predominantemente, por construções com cobertura metálica (Tabela 12). Mesmo tratando-se de alvos com intensa impermeabilização, os resultados foram diferentes entre os dois índices, o que sugere que a assinatura

espectral do entorno pode influenciar na performance dos modelos. Isso demonstra que para uma análise mais completa, acerca da impermeabilização do solo urbano, seja necessário considerar os resultados de ambos os índices.

**Tabela 12** – Comparação dos resultados do SWI e USWI em alvos acima de 18.000m<sup>2</sup>, onde os tons em vermelho representam os alvos muito impermeáveis e em azul alvos muito permeáveis.

USO	SWI	USWI
Área comercial 22.000m <sup>2</sup>		
Área comercial 18.000m <sup>2</sup>		
Área industrial 36.000m <sup>2</sup>		

**Fonte:** SWI e USWI (com 50% de transparência) sobre imagem Google Earth, 2018

Após essa etapa de análise, foi realizada a reclassificação das imagens para a elaboração das cartas temáticas. Lembrando que as categorias foram numeradas de um a cinco e correspondem respectivamente: muito impermeável, impermeável, intermediário, permeável e muito permeável (Figuras 12 e 13). Com as cartas temáticas geradas pelos índices SWI e USWI, foi possível validar os resultados obtidos pelos modelos e correlacioná-los aos aspectos urbanísticos da bacia hidrográfica.

Baseado nos resultados da reclassificação do USWI selecionou-se três fragmentos para análise (Figura 14). Os dois primeiros (Figura 15) objetivaram traçar um comparativo entre a realidade do bairro Parati (a) e do bairro Carlota (b). O terceiro buscou avaliar as áreas de cabeceira da bacia hidrográfica (Figura 16).

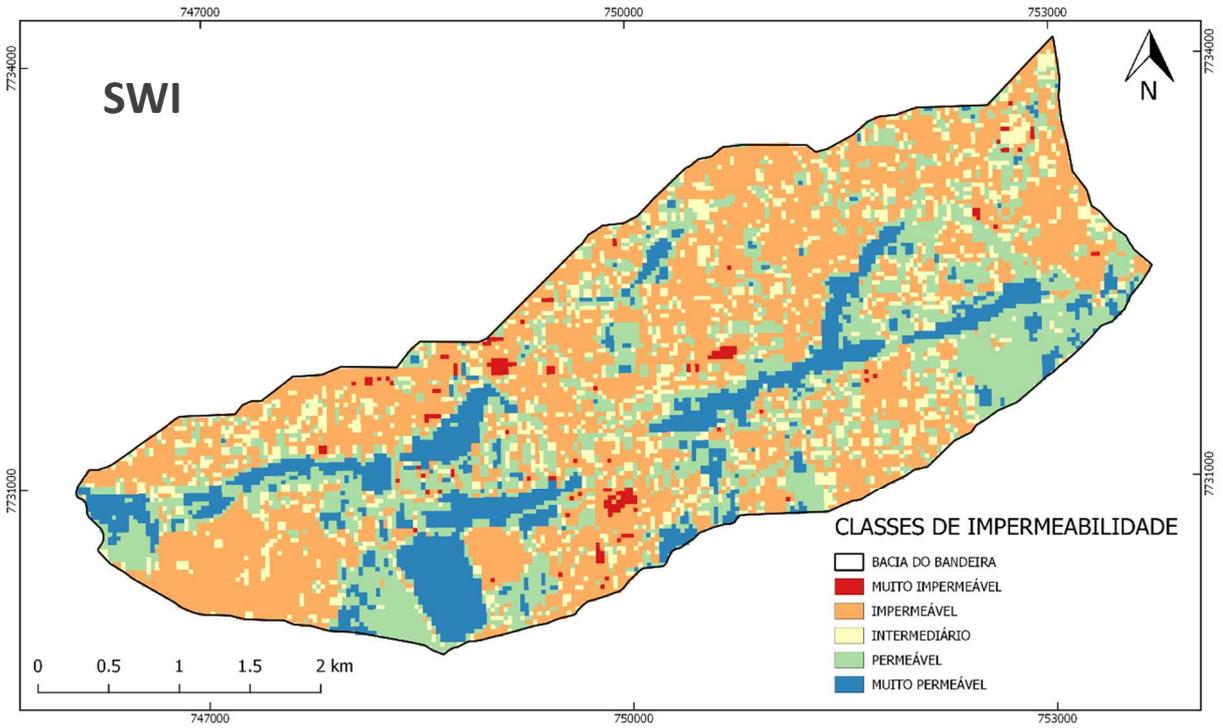
A primeira verificação serviu para interpretar o comportamento espectral do índice nos fragmentos (a) e (b). Observa-se que no fragmento (a) há uma maior concentração de pixels com o grau máximo de impermeabilização, enquanto que no fragmento (b) a imagem apresenta esses pixels de maneira mais dispersa.

Os lotes presentes no fragmento (a) têm em sua maioria 200m<sup>2</sup> (10 x 20m). Suas construções apresentam o mesmo padrão tipológico e estão dispostas de maneira uniforme, ou seja os recuos laterais e frontais são os mesmos. As poucas exceções são de casas com ampliação. Observa-se ainda um predomínio de cobertura das edificações com telhas cerâmicas, além de poucas árvores distribuídas ao longo das vias e intra-lotes.

Por outro lado, o fragmento (b) caracteriza-se por lotes a partir de 360m<sup>2</sup> (12 x 30m) e ampla variação tipológica das construções. Isso significa as edificações diferenciam-se entre si, podendo ser encontrada desde uma residência unifamiliar até pequenos blocos de apartamentos.

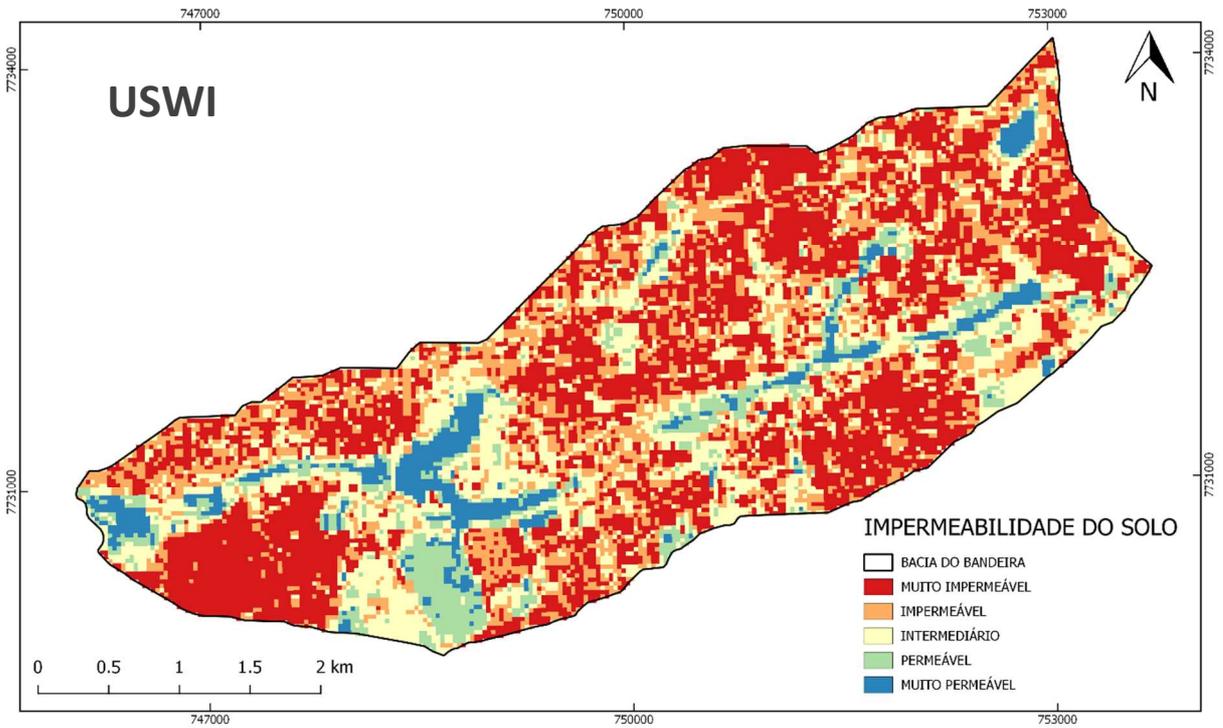
Ainda que o bairro Carlota apresente uma densidade demográfica maior (40,90hab/ha) em relação ao bairro Parati (21,63hab/ha) (PLANURB, 2017), a forma como as construções estão dispostas, bem como seus recuos, quintais e outras áreas verdes favorecem, por exemplo, que vegetações de diferentes portes se estabeleçam. Essas características explicam bastante como a resposta espectral variou de um bairro para outro

**Figura 12 – Carta temática de impermeabilização do solo – SWI.**



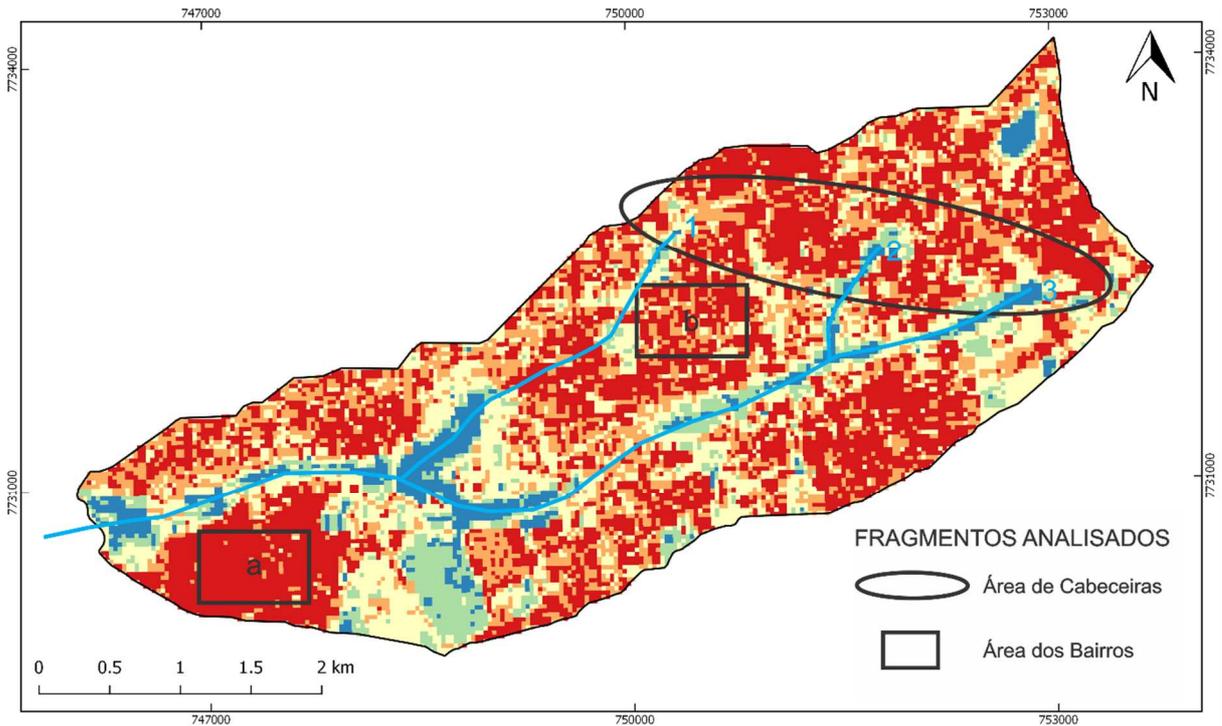
**Fonte:** Fonte *Shapefile*: SIMGEO, 2018. Projeção/DATUM: SIRGAS 2000 zona 21S.

**Figura 13 – Carta temática de impermeabilização do solo – USWI**



**Fonte:** *Shapefile*: SIMGEO, 2018. Projeção/DATUM: SIRGAS 2000 zona 21S.

**Figura 14** –Delimitação dos fragmentos para análise.



Fonte: Shapefile: SIMGEO, 2018. Projeção/DATUM: SIRGAS 2000 zona 21S.

**Figura 15** –Fragmentos analisados dos bairros Parati (a) e Carlota (b), onde os tons em vermelho representam os alvos muito impermeáveis e em azul alvos muito permeáveis.

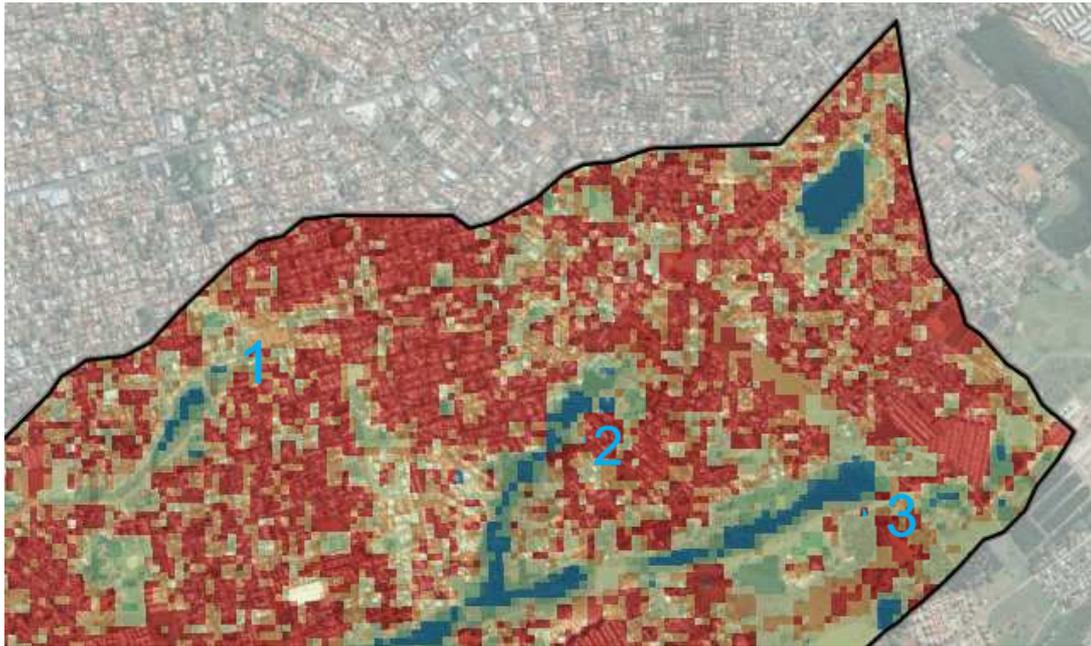


Fonte: USWI (com 50% de transparência) sobre imagem Google Earth, 2018.

Na região à montante da cabeceira do córrego Bandeira, observa-se alta concentração dos pixels que representam o grau máximo de impermeabilização (Figura 16 [3]). Mais uma vez, este resultado pode estar relacionado às tipologias construídas. Nesta área encontram-se quatro empreendimentos imobiliários com

cerca de 600 unidades habitacionais. As demais áreas próximas as cabeceiras dos córregos Cabaça [1] e Portinho Pache [2], apresentaram áreas menos impermeabilizadas.

**Figura 16** – Áreas de cabeceira da bacia hidrográfica do Bandeira, onde os tons em vermelho representam os alvos muito impermeáveis e em azul alvos muito permeáveis.



**Fonte:** USWI (com 50% de transparência) sobre imagem Google Earth, 2018.

Segundo a Carta Geotécnica do Município (PMCG, 1991 – ver anexo D), é recomendável que em áreas adjacentes às cabeceiras, projetos de parcelamentos elaborem estudos específicos visando identificar a interferência da urbanização nestas regiões. Nesse sentido, a espacialização das áreas impermeáveis pode ser considerada um indicador importante para viabilizar e nortear esse tipo de estudo.

Mais do que averiguar a situação da bacia, no que tange a impermeabilização do solo, classificando seus diferentes graus de interferência antrópica, a aplicação do USWI e SWI possibilitou também, estimar as áreas de cada classe (Tabela 13). Esse tipo de informação pode priorizar ações do poder público ao correlacionar aspectos ambientais e urbanísticos da região para a formulação de estratégias de planejamento da drenagem urbana e da paisagem.

**Tabela 13** – Áreas (km<sup>2</sup>) das classes geradas pelos índices SWI e USWI e porcentagens com relação à área total da bacia hidrográfica (15,24Km<sup>2</sup>).

<b>Classe</b>	<b>Categoria</b>	<b>SWI Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>	<b>USWI Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	Muito impermeável	152,100	9	6.186,600	42
<b>2</b>	Impermeável	6.981,300	44	3.469,500	23
<b>3</b>	Intermediário	2.024,100	11	3.582,001	23
<b>4</b>	Permeável	4.009,500	24	1.136,700	7
<b>5</b>	Muito permeável	2.072,700	12	864,004	5

Uma outra possibilidade de uso dos dados dimensionais, gerados pelos índices, é o comparativo entre a quantidade de áreas permeáveis e impermeáveis com relação a área total da bacia. Observa-se que em um cenário ideal bacias que contem unidades de conservação, parques e outras áreas protegidas, tendem manter uma proporção maior de suas áreas permeáveis. As informações adquiridas através desses modelos podem compor um banco de dados para o acompanhamento do desempenho geral das bacias hidrográficas do município.

Esses resultados dimensionais reafirmam a vocação dos dois índices, sendo o SWI com maior capacidade para distinção dos alvos naturais e o USWI para os alvos com influência antrópica. A soma das classes 1 (muito impermeável) e 2 (impermeável) aponta que cerca de 63% da área total da bacia do Bandeira possui algum grau de impermeabilização.

A espacialização dos pontos de alta impermeabilização do solo pode ser considerada como um dos indicadores utilizados para o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias de ação. No âmbito do planejamento ambiental urbano, proposto pelo Ministério do Meio Ambiente, a formulação de indicadores vem se consolidando no Brasil nas últimas décadas. Eles possibilitam a inserção de variáveis e parâmetros ambientais nos instrumentos de caráter urbanístico, como planos diretores, planos setoriais, leis de parcelamento do solo e zoneamentos urbanos (MMA, 2018).

Esses resultados reafirmaram a importante contribuição do modelo, uma vez que é capaz de gerar dados que funcionem como subsídios para o tratamento de áreas impermeabilizadas. Por exemplo, a espacialização e quantificação dessas áreas podem determinar se são necessárias medidas estruturais para região, ou se medidas de controle na fonte são suficientes.

### **3.4. Conclusão do Capítulo II**

Os índices USWI e SWI demonstraram eficácia na espacialização e quantificação das áreas permeáveis e impermeáveis da área de estudo e seus resultados demonstraram que tratam-se de dois modelos complementares. Isso significa que, para se obter maior clareza dos resultados, é necessário que se analise os dois índices. O critério de análise escolhido para desenvolver esta pesquisa, a partir da escala da bacia hidrográfica, e a correlação dos resultados com os dados urbanísticos, possibilitaram uma visão integrada da região.

A aplicação dos modelos permitiu também aferir a dimensão das áreas de superfícies permeáveis e impermeáveis na bacia hidrográfica do Bandeira. A compreensão da distribuição espacial dessas áreas é fundamental para que ações preventivas e normativas sejam regulamentadas, controlando impactos territoriais negativos. Estas informações constituem-se em importantes instrumentos para prevenção de riscos e estratégias de planejamento.

Os dados gerados apresentaram um alto potencial para a composição de um banco de dados com informações que subsidiem o monitoramento das áreas com maior fragilidade ambiental, auxiliando na tomada de decisões frente aos problemas de drenagem urbana e o planejamento da paisagem. Destaca-se que esses dados puderam ser gerados de forma livre e de fácil acesso, ampliando a possibilidade de uso em diversas situações.

#### 4. Conclusão Geral

Concluiu-se com esta pesquisa que as geotecnologias desempenham um importante papel nas análises ambientais dentro do contexto urbano. Com o estudo bibliométrico apresentado no primeiro capítulo, pode-se ter uma dimensão do alcance dessas ferramentas frente aos problemas relacionados as inundações e alagamentos.

Através da leitura e análise das publicações indexadas nas bases consultadas foi possível também constatar que esta é uma área de estudo extremamente interdisciplinar. Portanto, projetos e pesquisas que privilegiam a integração dos saberes terão maiores chances de alcançarem êxito. Através da variedade de abordagens contidas nas publicações, verificou-se como o conhecimento científico possibilita várias formas de solucionar problemas urbanos dessa natureza.

A aplicação prática de índices espectrais e técnicas de sensoriamento remoto, no segundo capítulo, validaram o uso dos índices espectrais, especialmente o SWI e o USWI, como ferramentas aptas a gerar mapas de impermeabilidade de uma bacia hidrográfica urbana. Os resultados obtidos nestas análises, se somados a outros dados como topografia, geomorfologia, geologia, hidrografia, uso e ocupação do solo, podem compor um diagnóstico da área de estudo muito mais completo.

Neste sentido, foi possível comprovar que com treinamento de pessoal, imagens de sensoriamento remoto de fácil acesso e *softwares* livres e de acesso gratuito o poder público, especialmente as prefeituras municipais, têm como gerar esse importante instrumento para análise de uma região. Com base nessas informações é possível lançar diretrizes de projetos e políticas públicas para a mitigação dos problemas de maneira mais assertiva e eficiente.

## 5. Referências

ABAS, Aisya Azizah; HASHIM, Mazlan. ***Change detection of runoff-urban growth relationship in urbanized watershed.*** In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2014.

ARNOLD Jr, C. L., & GIBBONS, C. J. **Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator.** Journal of the American planning Association, 62(2), 243-258. 1996.

BRASIL. LEI Nº 12.378, DE 31 DE DEZEMBRO DE 2010. **Regulamenta o exercício da Arquitetura e Urbanismo; cria o Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil - CAU/BR e os Conselhos de Arquitetura e Urbanismo dos Estados e do Distrito Federal - CAUs e dá outras providências.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010)> Acesso em: 02 abr. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, das Cidades Sustentáveis. **Planejamento Ambiental Urbano.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-urbano.html>>. Acesso em: 21 de jun. de 2018.

BRENNER, V.C.; GUASSELLI, L. A. **Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS – Brasil.** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. João Pessoa-PB. 2015.

CAMPO GRANDE (MATO GROSSO DO SUL). Prefeitura Municipal. **Carta Geotécnica de Campo Grande, MS:** Unidade de Planejamento Urbano. PLANURB, 1991.

\_\_\_\_\_. **CARTA DE DRENAGEM / Grau de Criticidade 1 Campo Grande - MS:** Agência Municipal de Meio Ambiente e Planejamento Urbano - PLANURB. Diretoria de Avaliação, Produção e Análise de Informação. Divisão de Estatística. 2017.

\_\_\_\_\_**BACIA HIDROGRÁFICA BANDEIRA Campo Grande - MS:** Agência Municipal de Meio Ambiente e Planejamento Urbano - PLANURB. Diretoria de Avaliação, Produção e Análise de Informação. Divisão de Estatística. 2017.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

\_\_\_\_\_**SIMGEO – SISTEMA MUNICIPAL DE GEOPROCESSAMENTO:** Imagens, mapas e arquivos vetoriais. 2017. Disponível em: <<http://www.campogrande.ms.gov.br/simgeo/>>. Acesso em: 02 de jun. de 2017.

CANHOLI, J. F. **Medidas de Controle “in Situ” do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas: Análise de Aspectos Técnicos e Legais**. 184f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da USP, São Paulo. 2013.

CARVALHO, C. S. et al. (Orgs.). **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007. Disponível em: <<http://www.capacidades.gov.br/biblioteca>> Acesso em: 18 set. 2017.

CONRAD, O. et al.. **System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4**, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>, 2015. Acesso em: 02 mai. 2018

CURY, Isabelle (org.). **Cartas Patrimoniais**. 3ª edição rev. e ampl.. Rio de Janeiro: IPHAN, 2004

DE MEDEIROS, José Mauro Gouveia; VITORIANO, Maria Albeti Vieira. **A evolução da bibliometria e sua interdisciplinaridade na produção científica brasileira**. RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação, v. 13, n. 3, p. 491-503, 2015.

ELSEVIER BV. **Scopus**. Databases. 2018a. Disponível em: <<https://www.scopus.com/>> Acesso em: 02 mar. 2018.

ELSEVIER BV. **Science Direct** Databases. 2018b. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>> Acesso em: 02 mar. 2018.

FAPESP *et al.* **SciELO - Scientific Electronic Library Online**. Databases. 2018. Disponível em: <<http://www.scielo.org/php/index.php>> Acesso em: 02 mar. 2018.

GAMARRA, R. M. **Geotecnologias na análise da estrutura e dinâmica da paisagem do Parque Estadual das Nascentes do rio Taquari-MS**. 112f. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, MS. 2013.

GAMARRA, R. M. et al. **Uso do NDVI na análise da estrutura da vegetação e efetividade da proteção de unidade de conservação no cerrado**. RAEGA O espaço geográfico em análise. Curitiba, V. 37, p. 307 – 332, 2016.

GOOGLE INC. **Google Earth**. 2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-br/earth/>>. Acesso em: 28 out. 2018.

GRASS Development Team, 2017. **Geographic Resources Analysis Support System** (GRASS). Software, Version 7.2. Open Source Geospatial Foundation.

HAMDI, R., et al. **Effects of urbanization and climate change on surface runoff of the Brussels Capital Region: A case study using an urban soil-vegetation-atmosphere-transfer model**. International Journal of Climatology, 31(13), 1959-1974. DOI: 10.1002/joc.2207, 2011.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Cidades. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/campo-grande/panorama>> Acesso em: 08 ago de 2018.

JENSEN, J. R., COWEN, D. C. **Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes**. Photogrammetric engineering and remote sensing, 65, 611-622, 1999.

JOHN W. & SONS. **Wiley Online Library**. Databases. 2018. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/>> Acesso em: 02 mar. 2018.

LAJO, A. A. M. **Uso da legenda CORINE para estimar as alterações no escoamento superficial em microbacia de drenagem urbana através do método racional e hidrograma unitário de Snyder**. 2003. 81f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – MS.

MACEDO, S. S. **Espaços livres, paisagem e ambiente**. Paisagem Ambiente Ensaio São Paulo. N. 7, p. 15-56. 1995.

MACIAS-CHAPULA, Cesar A. **O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional**. Ciência da informação, v. 27, n. 2, 1998.

REUTERS, T. **EndNote X5**. Philadelphia, PA, USA: Mídia digital, 2011.

MAMEDE, Lindinalva. **Geomorfologia: Abordagem Sistêmica em uma Microbacia**. V. 1 n. 1. Vitória: Geografares, 2000.

MCFEETERS, S. K. **The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features**. International Journal of Remote Sensing, v.17, n.7, p.1425-1432. 1996.

PARANHOS FILHO et al., **Geotecnologias em Aplicações Ambientais**. Campo Grande, MS: Ed. UFMS, 2016.

PEREIRA, L.E. **DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES DE SENSORIAMENTO REMOTO NA CARACTERIZAÇÃO DE ASPECTOS AMBIENTAIS**. 124f. Tese (Doutorado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, MS. 2018.

PEREIRA, L.E., et al. **Methods to model impermeable URBAN areas using soil moisture characteristics**. J Flood Risk Management. 2018;e 12480. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12480>

PIRAJÁ, R. V. **Análise geoambiental da região do Imbirussu, Campo Grande – MS**. 2013 86f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) Universidade Anhanguera-Uniderp, MS.

POK, S. et al. **An easily implemented method to estimate impervious surface area on a large scale from MODIS time-series and improved DMSP-OLS nighttime light data**. Faculty of Life and Environmental Sciences. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 133, 104-115. doi: org/10.1016/j.isprsjprs.2017.10.005, 2017.

QGIS *Development Team*. (2018). QGIS [versão 2.18 *Las Palmas*] *Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. *Electronic*. [http://qgis.org/pt\\_BR/docs/index.html](http://qgis.org/pt_BR/docs/index.html). Acesso em: 20 mai. 2018.

REUTERS, T. **EndNote X5**. Thomson Reuters: Philadelphia, PA, USA, 2011. Mídia digital.

\_\_\_\_\_. **Web of Science**. Databases. 2018. Disponível em: <http://apps-webofknowledge.ez51.periodicos.capes.gov.br/> . Acesso em: 02 mar. 2018.

ROSA, Roberto. Introdução ao sensoriamento remoto. In: **Introdução ao sensoriamento remoto**. EDEFU, Uberlândia. 1990.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation**. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, 371 pp. 1974.

SAKUNO, N. R. R. et al. **Mapeamento de Superfícies Impermeáveis em Áreas Urbanas Utilizando Imagens Índices Gerados Pelo Sistema Landsat-5 Thematic Mapper**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, p. 190-198, june 2017. Disponível em: <<http://www.periodicos.usp.br/rdg/article/view/132729>>. Acesso em: 18 abr. 2017

SANTOS, L. L. et al. **Aplicação de geotecnologias gratuitas e livres na delimitação e análise do uso e cobertura do solo na da Bacia Hidrográfica do córrego Laranja Doce**. Anais 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Cuiabá – MT. 2016.

SOUZA, C. F. et al. **Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas**. Vol. 17, n.2, Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 2012.

TAUBENBOCK, H. et al. *Flood risks in urbanized areas - multi-sensoral approaches using remotely sensed data for risk assessment*. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 11, n. 2, p. 431-444, 2011. ISSN 1561-8633.

**Web of Science**. Databases. 2018. Disponível em: <[http://apps-  
webofknowledge.ez51.periodicos.capes.gov.br/](http://apps-<br/>webofknowledge.ez51.periodicos.capes.gov.br/)> Acesso em: 01 mar. 2018.

TEODORO, V. L. I. et al. **O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local**. N. 20. Araraquara: Revista Uniara, 2007.

TUCCI, C.E.M.; GENZ, F. **Drenagem Urbana**, capítulo 7. Tucci, C.M.; Porto, R. e Barros M. T. Editora da UFGRS. 1995.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 2003.

*USGS Earth Explorer, Landsat 8 OLI*. Disponível em: <<http://www.usgs.gov.br>>. Acesso em: 02 de abr. de 2018.

WENG, Q. **Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends**. *Remote Sensing of Environment*, v.117, p.34-49. Doi:10.1016/j.rse.2011.02.030. 2012.



## ANEXO A

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS – Artigos Bibliometria

Aditya, M. R., R. Hernina, et al. (2017). *Geographic Information System and Remote Sensing Approach with Hydrologic Rational Model for Flood Event Analysis in Jakarta*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Institute of Physics Publishing.

Al-Amin, S. and O. I. Abdul-Aziz (2013). "CHALLENGES IN MECHANISTIC AND EMPIRICAL MODELLING OF STORMWATER: REVIEW AND PERSPECTIVES." *Irrigation and Drainage* **62**(S2): 20-28.

Aronica, G. T., F. Franza, et al. (2012). "Probabilistic evaluation of flood hazard in urban areas using Monte Carlo simulation." *Hydrological Processes* **26**(26): 3962-3972.

Buenemann, M., C. Martius, et al. (2011). "Integrative geospatial approaches for the comprehensive monitoring and assessment of land management sustainability: Rationale, Potentials, and Characteristics." *Land Degradation & Development* **22**(2): 226-239.

Decina, T. G. T. and J. L. B. Brandão (2016). "Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana." *Engenharia Sanitaria e Ambiental* **21**(1): 207-217.

Dietrich, A., R. Yarlagadda, et al. (2017). "Estimating the potential benefits of green stormwater infrastructure on developed sites using hydrologic model simulation." *Environmental Progress & Sustainable Energy* **36**(2): 557-564.

Giacomoni, M. H., R. Gomez, et al. (2014). "Hydrologic Impact Assessment of Land Cover Change and Stormwater Management Using the Hydrologic Footprint Residence." *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* **50**(5): 1242-1256.

Golden, H. E. and N. Hoghooghi (2018). "Green infrastructure and its catchment-scale effects: an emerging science." *WIREs Water* **5**(1): n/a-n/a. *Water* 2018, 5:e1254. doi: 10.1002/wat2.1254 For further resources related to this article, please visit the WIREs website.

Grimm, N. B., D. Foster, et al. (2008). "The changing landscape: ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients." *Frontiers in Ecology and the Environment* **6**(5): 264-272.

Hale, R. L., A. Armstrong, et al. (2015). "iSAW: Integrating Structure, Actors, and Water to study socio-hydro-ecological systems." *Earth's Future* **3**(3): 2014EF000295.

Hamdi, R., P. Termonia, et al. (2011). "\_Effects of urbanization and climate change on surface runoff of the Brussels Capital Region: a case study using an urban soil-

vegetation-atmosphere-transfer model." *International Journal of Climatology* **31**(13): 1959-1974.

Hoalst-Pullen, N. and M. W. Patterson (2011). "Applications and Trends of Remote Sensing in Professional Urban Planning." *Geography Compass* **5**(5): 249-261.

Li, W., C. Wu, et al. (2017). "Predicting future urban impervious surface distribution using cellular automata and regression analysis." *Earth Science Informatics*: 1-11.

Lim, T. C. (2016). "Predictors of urban variable source area: a cross-sectional analysis of urbanized catchments in the United States." *Hydrological Processes* **30**(25): 4799-4814.

Liu, M., H. Tian, et al. (2008). "Effects of Land-Use and Land-Cover Change on Evapotranspiration and Water Yield in China During 1900-20001." *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* **44**(5): 1193-1207.

McCluney, K. E., N. L. Poff, et al. (2014). "Riverine macrosystems ecology: sensitivity, resistance, and resilience of whole river basins with human alterations." *Frontiers in Ecology and the Environment* **12**(1): 48-58.

Mejía, A. I. and G. E. Moglen (2010). "Impact of the spatial distribution of imperviousness on the hydrologic response of an urbanizing basin." *Hydrological Processes* **24**(23): 3359-3373.

Mejía, A. I. and G. E. Moglen (2010). "Spatial distribution of imperviousness and the space-time variability of rainfall, runoff generation, and routing." *Water Resources Research* **46**(7): W07509.

Melesse, A. M., Q. H. Weng, et al. (2007). "Remote sensing sensors and applications in environmental resources mapping and modelling." *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* **7**(12): 3209-3241.

Pasquarella, V. J., C. E. Holden, et al. (2016). "From imagery to ecology: leveraging time series of all available Landsat observations to map and monitor ecosystem state and dynamics." *Remote Sensing in Ecology and Conservation* **2**(3): 152-170.

Pok, S., B. Matsushita, et al. (2017). "An easily implemented method to estimate impervious surface area on a large scale from MODIS time-series and improved DMSP-OLS nighttime light data." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **133**: 104-115.

Schifman, L. A., D. L. Herrmann, et al. (2017). "Situating Green Infrastructure in Context: A Framework for Adaptive Socio-Hydrology in Cities." *Water Resources Research* **53**(12): 10139-10154.

Shaw, S. B. and M. T. Walter (2009). "Improving runoff risk estimates: Formulating runoff as a bivariate process using the SCS curve number method." *Water Resources Research* **45**(3): W03404.

*Skougaard Kaspersen, P., N. Høegh Ravn, et al. (2015). Influence of urban land cover changes and climate change for the exposure of European cities to flooding during high-intensity precipitation. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences (PIAHS), Copernicus GmbH.*

*Snyder, M. N., S. J. Goetz, et al. (2005). "STREAM HEALTH RANKINGS PREDICTED BY SATELLITE DERIVED LAND COVER METRICS1." JAWRA Journal of the American Water Resources Association 41(3): 659-677.*

*Trlica, A., L. R. Hutya, et al. (2017). "Albedo, Land Cover, and Daytime Surface Temperature Variation Across an Urbanized Landscape." Earth's Future 5(11): 1084-1101.*

*Yao, L., L. Chen, et al. (2016). "Assessing the effectiveness of imperviousness on stormwater runoff in micro urban catchments by model simulation." Hydrological Processes 30(12): 1836-1848.*

## **ANEXO B**

### **BACIA HIDROGRÁFICA DO BANDEIRA**

## **ANEXO C**

### **CARTA DE DRENAGEM – GRAU I**

**ANEXO D**

**CARTA GEOTÉCNICA – CAMPO GRANDE MS**