



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM
ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE – PPGEMA**



GERANI FÉLIX DO NASCIMENTO SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO APLICADO AO
CAMPUS SAMAMBAIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE
GOIÁS**

GOIÂNIA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
GPT/BC/UFG

S586d Silva, Gerani Felix do Nascimento.
Desenvolvimento de baixo impacto aplicado ao Campus Samambaia da Universidade Federal de Goiás [manuscrito] / Gerani Felix do Nascimento Silva. - 2015.
155 f. : il.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Karla Emmanuela Ribeiro Hora;

Coorientadora: Jussanã Milograna.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2015.

Bibliografia.

Inclui lista de siglas, figuras, tabelas e abreviaturas.

1. Planejamento urbano 2. Meio ambiente – Planejamento urbano
I. Universidade Federal de Goiás, Campus Samambaia. II. Título.

CDU 911.375.1:711.57

GERANI FÉLIX DO NASCIMENTO SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO APLICADO AO
CAMPUS SAMAMBAIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE
GOIÁS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientadora: Profa. Dra. Karla Emmanuela Ribeiro Hora

Coorientadora: Profa. Dra. Jussanã Milograna

GOIÂNIA

2015

Termo de Ciência e de Autorização para Disponibilizar as Teses e Dissertações Eletrônicas (TEDE) na Biblioteca Digital da UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás – UFG a disponibilizar gratuitamente através da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações – BDTD/UFG, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ **Dissertação** ☐ **Tese**

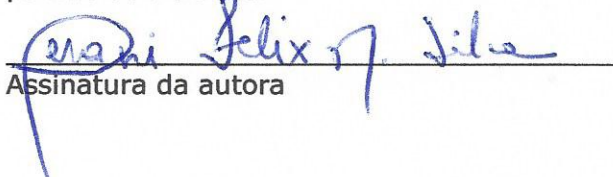
2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor(a):		GERANI FÉLIX DO NASCIMENTO SILVA	
CPF:	510805401-72	E-mail:	geranifelix@gmail.com
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? ☐ Sim ☒ Não			
Vínculo Empregatício do autor		Servidora da Universidade Federal de Goiás - Arquiteta	
Agência de fomento:		Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás	Sigla: FAPEG
País:	Brasil	UF:	GO CNPJ: 08.156.102/0001-02
Título:	Desenvolvimento de baixo impacto aplicado ao <i>Campus</i> Samambaia da Universidade Federal de Goiás		
Palavras-chave:	Planejamento urbano ambiental, Drenagem urbana, Desenvolvimento de baixo impacto, UFG.		
Título em outra língua:	Low impact development applied to the <i>Campus</i> Samambaia of the Universidade Federal de Goiás		
Palavras-chave em outra língua:	Urban environmental planning, Urban drainage, low impact development, UFG.		
Área de concentração:	Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental		
Data defesa:	27/03/2015		
Programa de Pós-Graduação:	Programa de Pesquisa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente - PPGEMA		
Orientadora:	E-mail: karlaemmanuela@gmail.com		
Karla Emmanuela Ribeiro Hora			
Coorientadora:	E-mail: milogranajussana@gmail.com		
Jussanã Milograna			

3. Informações de acesso ao documento:

Liberação para disponibilização? ☒ **total** ☐ **parcial**

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.


Assinatura da autora

Data: 11/05/2015

GERANI FÉLIX DO NASCIMENTO SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO APLICADO AO CAMPUS SAMAMBAIA
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, aprovada em 27 de Março de 2015 pela seguinte Banca Examinadora:



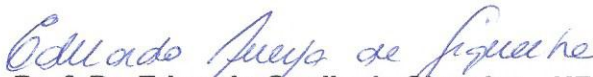
Profa. Dra. Karla Emmanuela Ribeiro Hora – Universidade Federal de Goiás

Presidente da Banca



Profa. Dra. Jussanã Milograna – IFG

Coorientadora



Prof. Dr. Eduardo Queija de Siqueira – UFG

Examinador Interno



Profa. Dra. Luciana Márcia Gonçalves - UFSCar

Examinador Externo

Dedico esta dissertação às pessoas mais especiais da minha vida:

Meus pais, Ângelo e Maria Philomena, exemplos de amor, dedicação e superação.

Meu esposo e filha, Paulo e Karla, pelo incansável apoio, incentivo, amor e compreensão.

Minha irmã, Irani, pela generosidade de sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo vigor, paz interior e lucidez, renovados a cada amanhecer.
Aos meus pais, Ângelo e Maria Philomena, pelo estímulo constante.
À minha filha, Karla, por estar ao meu lado e me apoiar nos momentos difíceis.
Ao meu esposo, Paulo, por seu incansável apoio, compreensão e amor incondicional.
A toda a minha família, com quem compartilho esta conquista, pelo suporte emocional.
À Profa. Dra. Karla Emmanuela Ribeiro Hora e à Profa. Dra. Jussanã Milograna, por contribuírem de modo especial para o desenvolvimento deste trabalho com suas preciosas orientações.
À Karla Hora, pela compreensão nos momentos de dificuldade e pela paciência que lhe é peculiar. Pela atenção e cuidado em me orientar, superando a distância e os compromissos.
À Jussanã, pela disciplina ofertada, pelo apoio nas horas cruciais e pelos momentos alegres, enriquecidos pelas nossas Nina, Duda e Zara.
À Dra. Eufrosina Leão, pela atenção especial no início do curso.
Ao Prof. Dr. Maurício Martines Salles, pela preciosa contribuição na difícil tarefa da estruturação inicial deste trabalho.
A todos os professores do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA), pelos conhecimentos compartilhados, em especial ao Prof. Dr. Eduardo Queija de Siqueira, por suas valiosas orientações, Prof. Dr. Denilson Teixeira, por me orientar na qualificação e “adotar” na apresentação do Seminário, Prof. Dr. José Vicente Granato e Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira, pela participação na banca do Seminário e suas contribuições ao trabalho.
A todos os colegas do PPGEMA, em especial a Hugo Ribeiro, pela parceria e amizade.
Aos demais colegas Ana Paula, Monike, Poliana, Raquel, Rubens e Tatiane pelos bons momentos ao longo do curso.
À Deuzélia, pela colaboração na secretaria do PPGEMA.
Aos amigos do Centro de Gestão do Espaço Físico (CEGEF), Simone, Marcos Carvalho, Adriano, Mirtes, Wenderson, Flaudeni, Poliana, Marcelus, Mayara, Leda, Marco Antônio, José Cruciano, Cecílio, José Henrique, Jaqueline, Márcia, Edvaldo, Valdete, Altaídes, Carolina, Leonardo e Zelão, por compartilharem ciência, experiências, amizade e emoções.
Aos estagiários, pelo apoio aos projetos em minha ausência.
À Ana Domitila, agradeço muitíssimo pela amizade e entusiasmo que me encorajou a ingressar no mestrado.
Aos Professores Dr. Ademir Pacelli Barbassa, Dr. Bernardo Arantes Nascimento Teixeira, Dra. Luciana Márcia Gonçalves e todo o grupo G-Hidro da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), agradeço por terem me recebido e comigo compartilhado suas pesquisas e experiências em implantação de técnicas compensatórias na bacia experimental do *Campus* São Carlos.
À Suzana Oellers, por sua valiosa contribuição na revisão e normalização deste trabalho.
Ao Instituto Federal de Goiás (IFG), por me permitir cursar a disciplina Drenagem e Controle de Cheias Urbanas e reviver as doces lembranças da adolescência no curso técnico de Edificações, nos “tempos da Escola Técnica”.
À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pelo apoio financeiro no segundo ano do curso.
À Universidade Federal de Goiás (UFG), por possibilitar este estudo.
Aos professores que compõem a banca examinadora e a todos que contribuíram com este trabalho cujos nomes não foram citados.
A todos, por tudo, meu muito obrigada!

RESUMO

A drenagem urbana convencional, conceituada como um sistema baseado no rápido escoamento das águas pluviais, tem se mostrado insustentável. Por conta da crescente impermeabilização resultante da expansão urbana, tem havido repetidas ocorrências de inundações e alagamentos, em especial nos espaços mais adensados. Com o intuito de restaurar as funções hidrológicas do lugar, o desenvolvimento de baixo impacto na gestão das águas urbanas, tratado neste trabalho como *low impact development* (LID), visa atingir a eficiência na proteção dos recursos naturais e atender às regulamentações ambientais no planejamento urbano. Com o objetivo de aplicar o LID ao *Campus* Samambaia, da Universidade Federal de Goiás (UFG), no município de Goiânia, GO, desde o planejamento urbano inicial e também em espaços já consolidados, foram estudadas técnicas compensatórias em drenagem urbana dentro do conceito LID. Esse *campus* foi escolhido como estudo de caso por ter ali ocorrido grande adensamento, fruto da ampla injeção de recursos oriundos do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni) no país, no período de 2008 a 2013, com incremento de áreas impermeáveis, alcançando 45,5% de sua área de ocupação. Para a consecução deste trabalho, foram realizadas ampla revisão de literatura sobre o tema, visitas de campo e estudo de caso. Nesta pesquisa, inicialmente buscou-se compreender a relação existente entre planejamento urbano e drenagem de águas pluviais. Por meio de pesquisa documental, evidenciou-se a fundamentação das leis e normativas que regulamentam o planejamento urbano, a drenagem dentro do saneamento básico, bem como os planos diretores de instituições federais de ensino superior (IFES) em interface com a drenagem urbana de águas pluviais. Para além disso, com base na revisão de guias, manuais técnicos, artigos, teses e dissertações sobre o tema, detalhou-se o funcionamento das técnicas compensatórias, observando-se as limitações em aspectos ambientais, sanitários, paisagísticos e técnicos. Foram realizadas visitas de campo ao *Campus* Samambaia e uma visita de campo ao *Campus* São Carlos, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), em sua bacia hidrográfica experimental, na qual várias técnicas compensatórias estão implantadas em escala real como resultado de pesquisas científicas. Confirmada a viabilidade do uso de técnicas compensatórias estruturais e não estruturais no *Campus* Samambaia, ao final deste estudo foram sistematizadas proposições de diretrizes, com orientações para a sua implantação em dois cenários, com 45,5% e 85,5% de área impermeável, sendo este último o limite permitido pelo plano diretor de Goiânia. Tais recomendações visaram servir de referência para as ações tanto de expansão física da UFG quanto para estudos futuros e aplicações semelhantes.

Palavras-chave: Desenvolvimento de baixo impacto. Drenagem urbana. Planejamento urbano. UFG.

ABSTRACT

LOW IMPACT DEVELOPMENT APPLIED TO THE *CAMPUS SAMAMBAIA* OF THE UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

Conventional urban drainage, defined as a system based on rapid flow of rainwater, has been proven unsustainable. Due to increase in waterproof surfaces resulting from urban sprawl, repeated floods and flooding have been occurring, especially in more densely populated areas. In order to restore the hydrological functions of the place, the development of low impact in urban water management, in this study called low impact development (LID), aims at achieving efficiency in the protection of natural resources and meet environmental regulations in urban planning. To apply LID to Campus Samambaia, of the Universidade Federal de Goiás (UFG), since the initial urban planning and also in areas previously consolidated, compensatory techniques in urban drainage were studied based on the concept of LID. This campus was chosen as a case study because of the great densification that has been taking place there, due to the large injection of funds from the Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni) in the country, from 2008 to 2013, with increased impervious surfaces, reaching 45.5% of its area. To perform this study, a broad literature review on the topic, field visits, and a case study were carried out. This research sought to initially understand the relationship between urban planning and stormwater drainage. The documentary research revealed the grounds of the laws and regulations governing urban planning, drainage within the sanitation context, as well as the master plans of federal institutions of higher education (IFES) in an interface with urban stormwater drainage. Furthermore, based on the review of guides, technical manuals, articles, theses, and dissertations on the subject, the operation of compensatory techniques was detailed, subject to the limitations regarding environmental, sanitary, landscape, and technical aspects. Field visits were made to the Campus Samambaia and a field visit to the Campus São Carlos, of the Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), in its experimental watershed, where several compensatory techniques are implemented in full scale, as a result of research trials. After confirming the feasibility of using structural and non-structural compensatory techniques at the *Campus Samambaia*, at the end of this study proposal guidelines were systematized for implementation in two scenarios, with 45.5% and 85.5% of impervious surfaces, the latter representing the limit allowed by the master plan of Goiânia. These recommendations were intended as a reference to the actions of both the physical expansion of UFG and future studies and similar applications.

Keywords: Low impact development. Urban drainage. Urban planning. UFG.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Variação da geometria do traçado e influência na área impermeável.	11
Figura 2.	A. Traçado viário típico em grelha com vielas. B. Traçado viário orgânico com <i>cul-de-sac</i>	26
Figura 3.	A. Traçado viário em alça. B. Detalhe do traçado viário em alça.	27
Figura 4.	Ruas verdes, que permitem o acesso de pedestres, contendo áreas abertas e de gestão de águas pluviais.	28
Figura 5.	Bacia de contenção no Rabalder Park, em Roskilde, Dinamarca.-.....	34
Figura 6.	Bacia usada para prática esportiva no Rabalder Park, em Roskilde, Dinamarca.	35
Figura 7.	Planta da bacia de contenção no Rabalder Park, em Roskilde, Dinamarca.	35
Figura 8.	Espaço multifuncional: bacia de retenção e quadra esportiva em Porto Alegre, RS.	36
Figura 9.	Trincheira de infiltração com alimentação direta.	37
Figura 10.	Trincheira implantada em Belo Horizonte pela SUDECAP-MG.	37
Figura 11.	Biovaleta em Oregon, Estados Unidos.	38
Figura 12.	Sequência de execução da biovaleta.	39
Figura 13.	Corte esquemático da biovaleta projetada para a Universidade da Flórida, Estados Unidos.	39
Figura 14.	Jardim de chuva com retenção de água.	40
Figura 15.	Jardim de chuva com retenção de água em esquina.	41
Figura 16.	Jardim de chuva com corte no meio fio.	41
Figura 17.	Perfil do jardim de chuva.	42
Figura 18.	Aplicação de pavimento permeável.	43
Figura 19.	Estacionamento com pavimento permeável em South Carolina, Estados Unidos.	43
Figura 20.	Camadas que compõem o pavimento permeável.	44
Figura 21.	Detalhe do poço de infiltração.	45
Figura 22.	Poços de infiltração. A. Poço de infiltração no <i>Campus Samambaia</i> , UFG. B. Poço com manilhas em concreto perfuradas.	45
Figura 23.	Exemplo de um telhado verde extensivo.	47

Figura 24.	Exemplo de um telhado verde semiextensivo.	47
Figura 25.	Exemplo de um telhado verde intensivo, com plantação de hortaliças, adotado no Queen Elizabeth Hotel, da rede Fairmont Hotel, em Montreal, Canadá.	48
Figura 26.	Reservatório individual enterrado.	49
Figura 27.	Reservatório individual superficial.	49
Figura 28.	Sistema de coleta de água pluvial e filtração.	50
Figura 29.	Sistema de condução de águas pluviais de telhados desconectados por valas ao plano de infiltração no <i>Campus</i> São Carlos, UFSCar.	52
Figura 30.	Plano de infiltração com vala e canal diafragma executado no <i>Campus</i> São Carlos, UFSCar.	53
Figura 31.	Desconexão da tubulação pluvial do sistema de drenagem existente no <i>Campus</i> São Carlos, UFSCar.	53
Figura 32.	Sistema filtro-vala-trincheira implantado no <i>Campus</i> São Carlos, UFSCar.	54
Figura 33.	Sistema de coleta de águas pluviais e poço de infiltração implantado no <i>Campus</i> São Carlos, UFSCar. A. Esquema do transporte das águas pluviais para o poço de infiltração. B. Corte do poço de infiltração com indicação da infiltração tanto pelas laterais quanto pelo fundo. C. Superfície do poço de infiltração, vertedor e sistema de monitoramento. .	55
Figura 34.	Protótipo de estudo de um telhado verde na UTFPR, em Toledo, PR.	56
Figura 35.	Uso associado de dispositivos de LID.	57
Figura 36.	Gráfico da expansão das universidades federais no Brasil de 2003 a 2010.	59
Figura 37.	Fluxograma do caminho metodológico percorrido nesta dissertação.	63
Figura 38.	Mapa de localização do <i>Campus</i> Samambaia, UFG.	65
Figura 39.	Edifício executado em 2012 e mata nativa preservada (APP) no <i>Campus</i> Samambaia, UFG.	66
Figura 40.	Imagem de satélite com a delimitação da área de estudo, a expansão do anel viário, no <i>Campus</i> Samambaia, UFG.	66
Figura 41.	Representação gráfica do <i>Campus</i> Ceilândia, UnB. A. Mapa de declividade. B. Planta do traçado. C. Maquete eletrônica.	79

Figura 42.	Representação gráfica do <i>Campus</i> Darcy Ribeiro, UnB. A. Mapa de declividade. B. Planta do traçado. C. Fotografia aérea.	80
Figura 43.	Representação gráfica do <i>Campus</i> Gama, UnB. A. Mapa de declividade. B. Planta do traçado. C. Maquete eletrônica.	81
Figura 44.	Representação gráfica do <i>Campus</i> Planaltina, UnB. A. Mapa de declividade. B. Planta do traçado. C. Maquete eletrônica.	83
Figura 45.	Representação gráfica do <i>Campus</i> Aparecida de Goiânia, UFG. A. Mapa de declividade. B. Planta do traçado. C. Maquete eletrônica.	84
Figura 46.	Representação gráfica do <i>Campus</i> Pampulha, UFMG. A. Mapa de declividade. B. Planta do traçado. C. Fotografia aérea.	85
Figura 47.	Representação gráfica do <i>Campus</i> da UFSC. A. Mapa de declividade. B. Planta do traçado. C. Fotografia aérea.	87
Figura 48.	Representação gráfica do <i>Campus</i> da UFSM. A. Mapa de declividade. B. Planta do traçado. C. Fotografia aérea.	88
Figura 49.	Representação gráfica do <i>Campus</i> São Carlos, UFSCar. A. Mapa de declividade. B. Planta do traçado. C. Fotografia aérea.	89
Figura 50.	Representação gráfica do <i>Campus</i> Glória, UFU. A. Mapa de declividade. B. Planta do traçado. C. Maquete eletrônica.	90
Figura 51.	Representação gráfica do <i>Campus</i> Viçosa, UFV. A. Mapa de declividade. B. Planta do traçado. C. Fotografia aérea.	92
Figura 52.	Representação gráfica do <i>Campus</i> da Ilha do Fundão, UFRJ. A. Mapa de declividade. B. Planta do traçado. C. Fotografia aérea.	93
Figura 53.	Representação gráfica do <i>Campus</i> do Vale, UFRGS. A. Mapa de declividade. B. Planta do traçado. C. Fotografia aérea.	94
Figura 54.	Representação gráfica do <i>Campus</i> Palmas, UFT. A. Mapa de declividade. B. Planta do traçado. C. Fotografia aérea.	96
Figura 55.	Fotografia aérea do anel viário do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, em 1975. .	98
Figura 56.	Planta do traçado do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, em 1984.	99
Figura 57.	Mapa de localização hidrográfica do anel viário do <i>Campus</i> Samambaia, UFG.	100
Figura 58.	Planta do traçado do anel viário do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, em 2013.	101
Figura 59.	Planta do traçado do anel viário do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, com curvas de nível.	102

Figura 60.	Mapa de declividade do anel viário do <i>Campus</i> Samambaia, UFG.	103
Figura 61.	Mapa de profundidade do lençol freático no anel viário do <i>Campus</i> Samambaia, UFG.	104
Figura 62.	Mapa dos tipos de solo no anel viário do <i>Campus</i> Samambaia, da UFG, a 3,00 m de profundidade.	105
Figura 63.	Bacia de retenção no <i>Campus</i> Samambaia, UFG, localizada perto do Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada à Educação.	107
Figura 64.	Detalhe do projeto para o controle de erosão na entrada da bacia de retenção no <i>Campus</i> Samambaia, UFG.	107
Figura 65.	Bacia de retenção no <i>Campus</i> Samambaia, UFG, localizada perto da Faculdade de Educação Física.	108
Figura 66.	Imagem de satélite do anel viário do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, em 2003.	110
Figura 67.	Imagem de satélite do anel viário do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, em 2006.	110
Figura 68.	Imagem de satélite do anel viário do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, em 2009.	111
Figura 69.	Imagem de satélite do anel viário do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, em 2013.	112
Figura 70.	Planta síntese do adensamento do anel viário do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, em 2005.	113
Figura 71.	Planta síntese do adensamento do anel viário do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, em 2013.	113
Figura 72.	Sobreposição do <i>shapefile</i> do traçado urbano do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, de 2005, à imagem de satélite obtida em 2006.	114
Figura 73.	Sobreposição do <i>shapefile</i> do traçado urbano do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, de 2013, à imagem de satélite obtida em 2013.	114
Figura 74.	Vista aérea do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, sentido oeste.	115
Figura 75.	Vista aérea do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, sentido leste.	116
Figura 76.	Vista aérea do <i>Campus</i> Samambaia, UFG, evidenciando a duplicação de vias, as rotatórias em lugar de cruzamentos e extensas áreas de estacionamento.	116

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1.	Princípios de orientação de projetos urbanos.	9
Quadro 2.	Declividades longitudinais das vias que asseguram o escoamento das águas sem produzir erosão no pavimento.	10
Quadro 3.	Pontos fortes e fracos da abordagem de traçados em malha ortogonal e orgânicos.	26
Quadro 4.	Vocação e possibilidades de aplicação das técnicas compensatórias em drenagem urbana.	31
Tabela 1.	Resumo da comparação de custos entre abordagem convencional e LID.	32
Quadro 5.	Técnicas compensatórias estruturais em drenagem urbana.	33
Quadro 6.	Critérios a serem utilizados em três tipos de telhados verdes.	46
Quadro 7.	Importância relativa das restrições de implantação e operação das técnicas compensatórias.	51
Quadro 8.	Listagem das IFES que disponibilizam traçados e planos diretores.	74
Quadro 9.	Comparação entre parâmetros urbanísticos de planos diretores das IFES.	75
Quadro 10.	Ações e diretrizes de planos diretores de IFES em interface com a drenagem urbana.	77
Quadro 11.	Situação dos poços de infiltração no anel viário do <i>Campus Samambaia</i> , UFG, 2013.	106
Quadro 12.	Diretrizes para uso de técnicas compensatórias com 45,5% de área impermeável no <i>Campus Samambaia</i> , UFG.	118
Quadro 13.	Diretrizes para uso de técnicas compensatórias com 85% de área impermeável no <i>Campus Samambaia</i> , UFG.	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
CEGEF	Centro de Gestão do Espaço Físico
CNUMAD 92	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
DPFP	Departamento de Planejamento Físico e Projetos
EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
GPP	Gerência de Planejamento e Projetos
IFES	Instituições Federais de Ensino Superior
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LID	<i>Low impact development</i>
LIUDD	<i>Low impact urban design and development</i>
MEC	Ministério da Educação
Reuni	Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais
RL	Reserva Legal
SUDS	<i>Sustainable urban drainage systems</i>
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFT	Universidade Federal do Tocantins
UnB	Universidade de Brasília
UTFPR	Universidade Federal Tecnológica do Paraná
UTM	Universal Transversa de Mercator
WSUD	<i>Water sensitive urban design</i>
ZAU	Zoneamento Ambiental Urbano

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	6
2.1 Objetivo geral	6
2.2 Objetivos específicos	6
3 REVISÃO DE LITERATURA	7
3.1 Planejamento urbano e drenagem de águas pluviais urbanas	7
3.2 Legislações associadas ao planejamento urbano e à drenagem de águas pluviais urbanas	13
3.3 Desenvolvimento de baixo impacto em drenagem de águas pluviais urbanas ..	20
3.4 Planos diretores de Instituições Federais de Ensino Superior	58
4 MATERIAL E MÉTODOS	62
4.1 Caracterização e delimitação da área de estudo	64
4.2 Planejamento urbano e desenvolvimento de baixo impacto em drenagem de águas pluviais urbanas	68
4.3 Compilação e tratamento de dados das Instituições Federais de Ensino Superior	69
4.4 Uso do solo no anel viário do <i>Campus Samambaia</i> entre 2003 e 2013	70
4.5 Procedimentos para elaboração de diretrizes para uso de dispositivo de LID na área do estudo de caso	72
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
5.1 Instituições Federais de Ensino Superior: planos diretores, traçado, declividade e interface com a drenagem urbana	73
5.2 Anel viário do <i>Campus Samambaia</i>	97
5.2.1 Caracterização do anel viário do <i>Campus Samambaia</i>	99
5.2.2 Transformação do uso do solo entre 2003 e 2013	109
5.3 Diretrizes para o uso de LID no anel viário do <i>Campus Samambaia</i>	117
5.3.1 Cenário A – 45,5% de área impermeável	117
5.3.2 Cenário B – 85% de área impermeável	120
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	124
REFERÊNCIAS	127
APÊNDICE A. Localização da rede de água pluvial e poços de infiltração existentes no <i>Campus Samambaia</i> , UFG.	137
APÊNDICE B. Cenário A, com 45,5 % de área impermeável. Implantação propositiva de técnicas compensatórias em drenagem urbana no anel viário do <i>Campus Samambaia</i> , UFG.	138
APÊNDICE C. Cenário B, com 85% de área impermeável. Implantação propositiva de técnicas compensatórias em drenagem urbana na expansão do anel viário do <i>Campus Samambaia</i> , UFG.	139
APÊNDICE D. Maquete eletrônica detalhando o Cenário B no <i>Campus Samambaia</i> , UFG.	140

1 INTRODUÇÃO

Na contemporaneidade, a expansão urbana, entre outros problemas, tem sido responsável por alterações significativas no meio natural. Como consequência do aumento das atividades antrópicas, tem havido incremento de áreas impermeabilizadas, originando impactos negativos, por exemplo, nas características do escoamento de águas pluviais. Tais alterações provocam aumento de inundações, do efeito de ilha de calor urbana e da contaminação dos recursos hídricos. Ademais, também causam redução de evaporação do solo, evapotranspiração das plantas e recarga de águas subterrâneas (CITY OF EDMONTON, 2011).

A Agenda 21 Global, resultante da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD 92), advertiu que o planejamento urbano deve estar aliado às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades (OLIVEIRA, 2011). Alguns atos normativos visam orientar a ocupação e o uso do solo de modo que se assegurem melhores condições para o crescimento das cidades. Parâmetros urbanísticos definidos em planos diretores, por sua vez, exercem papel fundamental na ordenação da cidade como forma de estimular o planejamento urbano de maneira sustentável, especialmente no que se refere ao manejo de águas pluviais urbanas, sendo primordial observar as legislações que orientam estes temas. Entretanto, os resultados da gestão ineficiente desse planejamento têm causado desequilíbrio no ambiente urbano, levando, principalmente, à degradação dos efeitos interativos do ciclo hidrológico e da qualidade da água (FLETCHER et al., 2011). Mascaró (2005) destacou que problemas advindos da inadequação no dimensionamento da rede coletora de águas pluviais podem decorrer da dificuldade de interface entre o sistema de drenagem e os processos de ocupação urbana. Isso resulta em previsão equivocada do crescimento populacional, muitas vezes em virtude da alteração do uso do solo não prevista em legislação, aliada a deficiências de manutenção e planejamento urbano integrado dos diversos sistemas de saneamento básico, a saber: abastecimento de água, esgotamento sanitário, gestão dos resíduos sólidos urbanos e drenagem urbana.

A busca por processos de mitigação ou compensação hidrológica em projetos urbanos tem se tornado irreversível, uma vez que não há como ignorar a necessidade de se propor soluções inovadoras em drenagem urbana no momento da realização do projeto urbanístico, procurando a conexão com os sistemas clássicos baseados no conceito higienista.

Essas soluções podem resultar em maior qualidade estética ou funcional, opções inovadoras de traçados, configurando uma nova paisagem no ambiente urbano.

Baptista, Nascimento e Barraud (2011) e Tucci (2012) alertaram para a necessidade de se adotar estratégias de gestão com abordagem integrada das águas pluviais urbanas, de modo a promover a inter-relação entre todos os sistemas que compõem o saneamento, para que estes dialoguem com a legislação e a gestão pública simultaneamente ao desenvolvimento do projeto de ordenamento urbano. Esta inter-relação contribuirá, inclusive, para evitar o comprometimento da qualidade das águas por poluição urbana. A preservação da qualidade da água é fundamental em todo o mundo, em especial no Brasil, que possui enorme responsabilidade neste sentido pelo fato de ser um dos países com maior disponibilidade de água no planeta. Então, torna-se indispensável o controle ambiental para favorecer o ciclo hidrológico por intermédio do aumento da infiltração e reduzir os processos erosivos causados pelo aumento do escoamento superficial (PEITER; POLETO, 2012).

Com o objetivo de restaurar as funções hidrológicas originais do lugar, o desenvolvimento de baixo impacto na gestão de águas urbanas, conhecido por seu nome e abreviatura em inglês, *low impact development* (LID), visa atingir eficiência na proteção dos recursos naturais e atender às regulamentações ambientais. O termo LID é utilizado ao longo deste trabalho para designar a abordagem alternativa de gestão das águas urbanas com o uso de técnicas compensatórias, que vem sendo utilizada com êxito em diversos países, tais como Estados Unidos, Inglaterra, Austrália, Canadá, entre outros. O LID apresenta grande diferencial em relação aos sistemas clássicos de drenagem urbana, pois trata das águas pluviais e do seu manejo durante a fase de elaboração do projeto urbano desde a adoção do traçado, ou seja, em sua fase inicial. No desenvolvimento de baixo impacto, planeja-se o espaço urbano levando em conta aspectos urbanísticos, hidrológicos e ambientais de modo simultâneo (TAVANTI; BARBASSA, 2012).

Nos países em que o conceito LID em drenagem urbana vem sendo empregado, manuais e documentos com orientações acerca do uso de seus dispositivos têm sido elaborados e disponibilizados por agências ambientais dos respectivos governos, com o intuito de incentivar sua adoção e implementação. No Brasil, existe demanda crescente por opções para se resolver problemas de gestão de águas urbanas de forma mais eficaz e sustentável do que os sistemas clássicos utilizados. O Ministério das Cidades elaborou e disponibilizou em seu *site* um manual para implementação municipal de drenagem urbana

sustentável (BRASIL, 2012c). Porém, para a sua efetividade, é necessário aliá-lo às estratégias de regulação e expansão do uso do solo.

Embora este trabalho aborde aspectos mais direcionados ao uso de técnicas compensatórias em drenagem urbana, é importante ressaltar que o conceito LID é muito mais abrangente. Ele parte da criação de um urbanismo de baixo impacto, desde a definição dos índices e parâmetros urbanísticos, considerando as referências projetuais e as legislações que tratam da densidade e do parcelamento do solo. Envolve, ainda, a definição do desenho urbano no projeto urbanístico, tratando a topografia do terreno de modo tridimensional, orienta o uso de condições para proteção das áreas de preservação permanente e incentiva o menor movimento de terra possível na implantação de edifícios, com menores cortes e aterros no terreno. Recomenda o uso de vias e calçadas com larguras mínimas proporcionais ao fluxo, além da implantação de árvores de portes variados, favorecendo a infiltração e a evapotranspiração das águas da chuva, incrementando a área sombreada do sítio. Adicionalmente, busca a minimização de áreas impermeáveis diretamente conectadas, para sua independência total ou parcial do sistema tradicional de drenagem pluvial, levando à autossustentabilidade da drenagem, em seu aspecto urbanístico e arquitetônico, direcionando as águas pluviais de áreas impermeáveis para a infiltração (BAPTISTA, 2015).

Como parte integrante da expansão urbana, os *campi* ou cidades universitárias, equipamentos de grande porte que abrigam instituições de ensino superior, também contribuem para o adensamento populacional, sofrendo as consequências disto e causando influência na cidade e no entorno onde estão inseridos. Como nas cidades, toda a infraestrutura necessária, a setorização dos espaços e o controle do desenvolvimento de um *campus* precisam ser planejados de modo conjunto com os aspectos sustentáveis, envolvendo um trabalho multidisciplinar para a elaboração do plano diretor (TAUCHEN, 2007).

O governo federal adotou uma série de medidas para retomar o crescimento do ensino superior público e, assim, criou condições para que as universidades promovam a expansão física, acadêmica e pedagógica da rede federal de educação superior, o que ocasionou expansão física sem precedentes nesta área. Essa expansão é fruto do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni). Desse modo, a Universidade Federal de Goiás (UFG), assim como diversas outras Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) no Brasil, vem experimentando expansão acentuada, porquanto, em função do Reuni, tem sido disponibilizado pelo governo federal significativo aporte de recursos materiais e humanos (BRASIL, 2007b).

Com o acréscimo de cursos e vagas na UFG, o número de alunos aumentou de 13.000 para 25.000 desde o início do Reuni até 2012, nos *campi* localizados em Goiânia, Jataí, Catalão e Goiás, demandando investimentos da ordem de R\$ 97 milhões em infraestrutura física entre 2006 e 2008 (EXPANSÃO..., 2010). Essa expansão ocorreu sem a existência prévia de edifícios compatíveis com o novo número de alunos e servidores. Desde a aprovação do programa em 2007, foram executadas inúmeras obras para a sua completa implantação e, de 2008 a 2012, foram utilizados R\$ 120.625.736,00, possibilitando a melhoria das instalações para o desenvolvimento das diversas atividades (UFG, 2013). No período compreendido entre 2006 e 2013, as edificações executadas resultaram em aumento de 90% na área construída da UFG, com obras financiadas por diversas fontes de recursos: Reuni, UFG, emendas de parlamentares goianos e programa CT-Infra. Foi um período único desde a fundação da UFG, transformando-a em verdadeiro canteiro de obras, em todos os *campi*. O Centro de Gestão do Espaço Físico (CEGEF) foi responsável pela elaboração dos projetos e fiscalização de todas as obras (UFG..., 2013).

Como ocorre nas cidades, para a concepção de um *campus* universitário é recomendável que se constitua uma equipe multidisciplinar a fim de elaborar o plano diretor, de preferência com a participação da comunidade universitária. Em função do Reuni, em 2007 foi elaborado, em caráter de urgência, um plano diretor paisagístico limitado ao trecho do anel viário do *Campus* Samambaia da UFG, contendo equipamentos e definição da vegetação a ser implantada, redefinição de parte do sistema viário com duplicações, novos estacionamentos e passarelas de pedestres cobertas e descobertas, além do parcelamento de duas novas quadras urbanas dentro do anel viário para a implantação dos novos edifícios.

No processo de expansão de vagas, o governo federal aprovou, em 2011, a implantação de 47 novos *campi*. Nesse contexto, além da expansão dos *campi* existentes, denominados Colemar Natal e Silva, Jataí, Catalão, Goiás e Samambaia, a UFG foi contemplada com dois novos *campi*, com o início das obras previsto para 2014. Para a sua concepção, são necessários estudos e orientações prévias, de modo que haja um planejamento integrado, com atenção aos diversos fatores que o influenciam e limitam (UFG, 2013).

Dessa forma, observa-se que o planejamento de atividades relacionadas à gestão das águas deve estar integrado ao planejamento urbano, incluindo o desenho da malha urbana (traçado) e sua expansão, o zoneamento de atividades, a rede viária e de transportes, além dos aspectos paisagísticos. O propósito de toda essa integração é chegar a resultados satisfatórios

em termos de benefícios econômicos, estéticos, ecológicos e recreacionais, aprimorando o potencial de uso da terra (MASCARÓ; YOSHINAGA, 2005).

Na expansão ocorrida nos *campi* das IFES foi verificada inexistência de orientações técnicas e diretrizes que apontem para um planejamento urbano sob o conceito do desenvolvimento de baixo impacto, o que compromete o planejamento adequado dos *campi* existentes, suas expansões e novas instalações. Diante disso, o presente trabalho pretende preencher essa lacuna nos projetos urbanísticos para o *Campus* Samambaia sistematizando orientações e diretrizes, na fase de planejamento dos planos diretores, na concepção do traçado urbano e na implementação de técnicas compensatórias em drenagem urbana.

As etapas de desenvolvimento deste trabalho são apresentadas em seis itens. No primeiro, é feita a introdução à temática explanando o assunto de forma geral, justificando sua importância e relevância. A seguir, no segundo item, são apresentados os objetivos geral e específicos. Para delinear o estudo, no terceiro item é apresentada uma extensa revisão de literatura, abordando o planejamento e sua interface com a drenagem urbana, o fundamento das legislações associadas aos dois assuntos, um aprofundamento sobre desenvolvimento de baixo impacto em drenagem de águas urbanas e um panorama dos planos diretores das IFES com relação à adoção de LID, identificando seus traçados e correlacionando-os com a drenagem urbana. Uma visita de campo à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) confirmou o uso de LID em um *campus* universitário como elemento de pesquisa e mitigação do escoamento superficial. No quarto item, são apresentados o material e os métodos adotados, indicando de forma detalhada como o trabalho foi desenvolvido. No quinto item, são apresentados os resultados e a discussão destes, organizando-se as diretrizes e orientações para o uso de técnicas compensatórias sob o conceito de LID a serem aplicadas ao anel viário do *Campus* Samambaia da UFG. No sexto item, são traçadas as conclusões e as considerações finais sobre a pesquisa realizada.

2 OBJETIVOS

Para a consecução deste estudo, foram delimitados um objetivo geral e quatro objetivos específicos descritos a seguir.

2.1 Objetivo geral

O presente estudo teve como objetivo geral propor e orientar o uso de técnicas compensatórias em drenagem de águas pluviais associadas ao planejamento urbano na expansão física do anel viário do *Campus* Samambaia da UFG, com base no conceito de desenvolvimento de baixo impacto.

2.2 Objetivos específicos

Para o desenvolvimento desta dissertação, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- 1) Analisar a relação entre planejamento urbano e drenagem de águas pluviais urbanas.
- 2) Identificar traçados urbanísticos de IFES, analisando as recomendações de seus planos diretores em interface com a drenagem e as possibilidades de aplicação no *Campus* Samambaia.
- 3) Averiguar a evolução do uso do solo no *Campus* Samambaia resultante do Reuni, no período de 2003 a 2013.
- 4) Propor diretrizes e orientar o uso de técnicas compensatórias, com base no conceito de desenvolvimento de baixo impacto, na área de expansão do anel viário do *Campus* Samambaia, observando a ocupação atual e máxima permitidas pelo plano diretor de Goiânia, em dois cenários: 45,5% e 85% de área impermeável.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Com o intuito de respaldar esta dissertação, inicialmente apresenta-se uma revisão de literatura sobre planejamento urbano e drenagem, a fim de se compreender os aspectos que os tornam relacionáveis. Nesse percurso, realizou-se uma revisão documental sobre o aparato legal que norteia o planejamento urbano e a drenagem no Brasil e em Goiânia, assim como em livros, manuais técnicos, guias e artigos de periódicos, em busca de informações atualizadas e ilustradas sobre o desenvolvimento de baixo impacto ou LID.

3.1 Planejamento urbano e drenagem de águas pluviais urbanas

Ao se desenhar e fazer intervenções nas cidades atuais, torna-se imprescindível ter conhecimento acerca das características morfológicas das cidades antigas e modernas, bem como compreender os processos culturais e sociais de sua formação e transformação. Uma primeira leitura da cidade é eminentemente físico-espacial e morfológica e, portanto, específica da arquitetura, porquanto esta é a única ciência que permite destacar a diferença entre espaço e forma individuais, esclarecendo as características de cada trecho existente (LAMAS, 2011). Os gregos se destacaram no planejamento urbano, com configuração das cidades em traçado ortogonal, influenciando o traçado das cidades romanas. Conforme esse preceito, eram observados os critérios de topografia e higiene, de modo que o caimento das vias facilitasse a drenagem, considerando-se salubridade, exposição ao sol e aos ventos, além da umidade dos terrenos (VALLE JÚNIOR; PASQUALETTO, 2012).

A forma urbana pode ser compreendida como o resultado da produção voluntária do espaço, reflexo da influência de um conjunto de fatores socioeconômicos, políticos e culturais, de maneira que sua interpretação ocorra sempre dentro do contexto das relações culturais e ideológicas e suas mudanças se deem observando-se, no momento histórico, as práticas sociais relacionadas à concepção e à produção da paisagem urbana (KNOX, 2011; LAMAS, 2011). Ao observar a integração do traçado urbano com a infraestrutura, no século IV, Aristóteles já recomendava separar a água potável daquelas de “uso comum” e zonear a cidade, prevendo um setor para cada atividade. O filósofo grego também aconselhou a adoção do traçado reto das ruas para facilitar o tráfego de carruagens, assim como da quadrícula, o

traçado em forma de quadros, também denominado grelha (MASCARÓ; YOSHINAGA, 2005).

A maioria das cidades hoje existentes foi concebida, em sua essência, na época medieval. A despeito de urbanizações de grande relevância posteriores a esse período, alguns fatos estabelecidos na Idade Média continuaram a orientar o crescimento recente de modo persistente e único (BENEVOLO, 2006). É importante destacar que toda e qualquer cidade, independentemente do pensamento que a concebeu, só existe, na verdade, como processo, nunca como estabelecimento que se instala de modo definitivo. Por essa razão, ela se manifesta por meio de permanentes transformações, pois os conteúdos urbanos e as formas que assume se alteram de maneira dinâmica (GRAEFF, 1985).

Quanto à estrutura global das cidades, Lamas (2011) definiu tipologias que podem influenciar diretamente o manejo das águas urbanas, tais como cidades lineares, radioconcêntricas, em malha ortogonal, radiais, entre outras. O traçado é um dos elementos mais facilmente identificáveis, tanto na sua forma, quanto na projeção, pois é estabelecido em um suporte geográfico preexistente, ordenando a disposição dos edifícios e quarteirões, além de interligar os vários espaços e partes da cidade. Ao se considerar a análise da cidade, torna-se oportuna a observação de três ordens ou escalas distintas, que são: a) a escala da rua, que compreende as construções e os espaços construídos que as circundam; b) a escala do bairro, que é constituído por um conjunto de quarteirões com características comuns; c) a escala de toda a cidade, considerada como um conjunto de bairros (ROSSI, 2001).

Em meados da década de 1950, os estudantes de arquitetura e urbanismo eram orientados a elaborar o desenho da cidade com a disposição de vias, edifícios e manchas verdes no terreno. Eram utilizados critérios de equilíbrio volumétrico nas regras abstratas do Plano Massa, que consiste em uma configuração arquitetônica e urbanística que atende orientações legais específicas de ocupação em eixos estruturais. Buscava-se uma solução com efeito gráfico interessante, traçando-se vias e volumes com sombras, evitando-se a simetria e os eixos de composição, além das formas que evocassem qualquer cidade antiga, clássica ou barroca. Na adoção do traçado, não se percebia uma interface com a drenagem urbana, porquanto, naquela época, havia um desafio às formas inéditas de traçado, enquanto na contemporaneidade, ao contrário, se procura traçar formas geométricas e eixos de simetria, em uma evidente valorização das composições tradicionais (DZIURA, 2007; LAMAS, 2011).

Ao se trabalhar em uma intervenção urbanística, inicialmente, é preciso fazer a leitura adequada da realidade de sua base de sustentação e do sítio em que o projeto será

desenvolvido. Seu entorno, seguramente, fornecerá indicativos da tipologia de concepção do projeto, uma vez que sofre influência daquela parcela inserida no contexto urbano, que consiste em suas condições físicas, relevo, zonas de declividade inadequadas e outras condições topográficas particulares, linhas naturais de drenagem das águas, cursos d'água, vegetação, incluindo as imunes ao corte, caminhos preestabelecidos pelas práticas sociais do entorno, principais acessos e conexões viárias, entre outros específicos para cada situação. Assim sendo, deve-se observar o entorno para obter informações relativas ao que, como, quem e quando se apropria do espaço vizinho (CASTELLO, 2008).

Para a configuração urbana, que equivale à definição da forma urbana, Prinz (1980) recomendou alguns princípios que devem ser observados para a elaboração de projetos urbanos, conforme mostrado no Quadro 1. Observa-se, portanto, uma relação direta dos traçados com as particularidades topográficas locais, originárias das cidades portuguesas, com alguns exemplos no Brasil, como as cidades de Tiradentes e Ouro Preto. Por outro lado, a primeira vez que a ideia de um traçado regular foi associada ao caráter de monumentalidade e grandeza e retidão, desejado para uma importante capital, ocorreu na concepção de Alexandria, cidade de filiação grega, com amplas ruas, grandes edifícios públicos e arquitetura imponente. O mesmo caráter pode ser observado séculos adiante na concepção de Brasília, dispondo de forma-espço com paralelos, ou Goiânia, onde a forma remete a um apelo cívico e cerimonial, demarcando o cotidiano dos espaços de contemplação, respeito e soberania (MEDEIROS, 2013).

Quadro 1. Princípios de orientação de projetos urbanos.

Configuração urbana	Princípios de orientação
Regular, geométrica ou irregular	Locais com poucas ligações entre si, como em um terreno plano sem elementos de construção ou vegetação significativos, no qual as estruturas geométricas criam uma ordem coerente.
Subordinada ou dominante	Permite subordinar-se a um todo, ou obtém autonomia por meio de contraste determinado pelo conteúdo e pela época.
Natural, orgânica ou artística	Deve-se avaliar a qualidade do planejamento em função da paisagem que irá influenciar.

Fonte: Elaborado pela autora com base em Prinz (1980).

Posteriormente à caracterização do sítio, o traçado urbano se inicia pela definição de avenidas, ruas e caminhos para pedestres, primordiais para tornar acessíveis as diferentes localidades do espaço a ser organizado. Essas avenidas, ruas e caminhos sofrem variação na

forma de seus traçados e desenhos conforme a topografia do local, as características do usuário e o motivo pelo qual o pedestre transitará por eles. É possível afirmar que entre os diversos tipos de traçados e retículas urbanas, o modelo da quadrícula ortogonal, ou em grelha, é o mais econômico. Considerando-se a quantidade de metros de vias e redes em geral por lote servido, as malhas não ortogonais são, em média, 20% a 50% mais caras do que as ortogonais (MASCARÓ, 2005).

Com relação às limitações impostas pela declividade longitudinal das vias para a preservação do pavimento, a fim de se assegurar o escoamento das águas deve-se atentar para os valores mostrados no Quadro 2 (MASCARÓ, 2005).

Quadro 2. Declividades longitudinais das vias que asseguram o escoamento das águas sem produzir erosão no pavimento.

Tipo de pavimento	Declividade (%)	
	Mínima	Máxima
Concreto de cimento moldado <i>in loco</i> e acabado com cuidado	0,3 a 0,4	10 a 14
Asfalto com guias e sarjetas pré-moldadas	0,4 a 0,5	10 a 14
Blocos articulados de concreto ou paralelepípedos regulares	0,5 a 0,6	8 a 12
Pedra irregular acomodada à mão	0,6 a 0,8	8 a 12
Pedrisco sem peneirar	0,6 a 0,8	6 a 8

Fonte: Elaborado pela autora com base em Mascaró (2005).

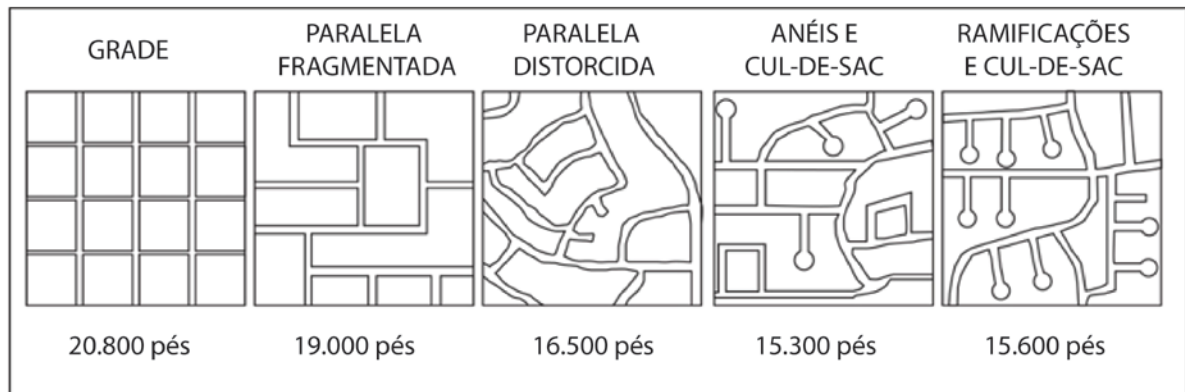
A adoção da inclinação transversal para as vias de veículos deve ocorrer, preferencialmente, em conformidade com o terreno natural e em conjunto com o projeto de drenagem, de modo a facilitar o escoamento superficial e o direcionando para as bocas de lobo. A inclinação transversal recomendada é de 3%, sendo admitido o mínimo de 2% (AMOB, 2010).

No traçado urbano, a determinação do sistema viário influencia significativamente o planejamento hidrológico e o percentual de áreas impermeáveis do local. A extensão das vias e o percentual de áreas impermeáveis variam para cada opção de traçado. A escolha de uma configuração de traçado como o modelo em anéis e *cul-de-sac*¹ pode gerar redução de até 26% do total de áreas impermeáveis (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999), conforme apresentado na Figura 1. Para minimizar os efeitos do traçado nas inundações, Morelli e

¹ *Cul-de-sac* é um termo francês que significa, literalmente, fundo de saco e, normalmente, se refere a uma rua sem saída (SOUTHWORTH; BEN-JOSEPH, 2004).

Barbassa (2009) sugeriram que se adote no projeto o estreitamento das vias, que se procure utilizar pavimentos permeáveis em adição ao aumento do percentual de áreas verdes e que se busque valorizar a arborização, de maneira que a conjunção destas medidas culmine no ganho estético da paisagem urbana.

Figura 1. Variação da geometria do traçado e influência na área impermeável.



Fonte: Adaptada pela autora com base em Prince George's County (1999, p. 2-11).

A presença de áreas verdes em loteamentos, bem como a gestão adequada dos espaços destinados à vegetação em meio urbano, tais como praças, parques urbanos e canteiros centrais de avenidas, são de fundamental importância. O bom manejo dessas áreas possibilita a redução dos volumes que escoam superficialmente nas cidades (MORELLI; BARBASSA, 2009).

O conceito atual de planejamento territorial é bastante completo, abrangente e integrado e deve envolver aspectos econômicos, sociais, físico-territoriais, ecológicos e administrativos. Ademais, é de vital importância que haja harmonização entre pavimentos viários e deságues pluviais, cabendo ao urbanista observar o terreno como uma realidade tridimensional. As vias públicas são importantes elementos da drenagem urbana, uma vez que, além de receber diretamente parte das precipitações, também orientam e conduzem as descargas provenientes do interior das quadras (MASCARÓ, 2005).

Em abordagem convencional, a drenagem urbana de águas pluviais baseia-se em um sistema artificial de esgoto. Consiste na captação da água da chuva das sarjetas, em geral por meio de bocas de lobo, conduzindo-a até as galerias e, deste modo, levando-a aos cursos d'água. Esse sistema, denominado sistema de drenagem urbana clássica, compõe-se de três partes, que são: a) as ruas pavimentadas, com guias e sarjetas; b) a rede de tubulações e de

sistemas de captação; c) as áreas alagáveis (MASCARÓ; YOSHINAGA, 2005). Esse tipo de drenagem consiste em um conjunto de medidas executadas de maneira a tornar salubres os ambientes habitados por pessoas, evitando a ocorrência de inundações, empoçamentos e alagadiços, que são responsáveis pela criação de condições favoráveis à transmissão de doenças (MILOGRANA, 2009). Por seu alto grau de degradação, as águas urbanas são consideradas indesejáveis de acordo com a visão tradicional. Por essa razão, canalizam-se, recobrem-se e retificam-se os cursos d'água. Os adeptos dessa visão consideram que assim se saneia o ambiente em relação à drenagem pluvial, drenando e criando estruturas micro e macro que possam encaminhar a água o mais distante possível de sua origem (SOUZA; MORAES; BORJA, 2013).

Com relação à interface do traçado e às redes de pavimento, esgoto e drenagem pluvial, Mascaró (2005) advertiu que esta associação ao projeto nem sempre é respeitada. Em lugar de planejar o traçado urbano em função do terreno, muitas vezes, opta-se por alterar a topografia do terreno para ajustá-la à infraestrutura, evitando possíveis problemas. No entanto, esta prática tem sido considerada antieconômica e antiecológica, uma vez que um dos desafios do crescimento equilibrado e duradouro das populações é provê-las de serviços urbanos em quantidade e qualidade suficientes, com menor impacto sobre o meio ambiente.

Gouvêa (2008) reforçou a ideia de que, na concepção do projeto, as infraestruturas urbanas são elementos fundamentais, citando como exemplos disto a pavimentação, o sistema de drenagem pluvial, o sistema de abastecimento de água, o sistema de coleta, transporte, tratamento e destinação dos resíduos sólidos e as redes de energia. Assim, o urbanista atual precisa dominar o conhecimento sobre esses elementos para bem organizar cidades dinâmicas, equilibradas com o meio ambiente natural e mais sustentáveis.

Os sistemas viários também são sistemas de canais de escoamento de água pluvial que, necessariamente, dependem da topografia local. Uma rua deve cumprir múltiplas funções, entre as quais se encontra a de conter todos os serviços de infraestrutura urbana. Consequentemente, existe a necessidade de regras para organizar seu subsolo, de tal maneira que cada sistema tenha condições de executar sua função eficientemente. Contudo, observa-se, na prática, que os poços de visita são arrematados com tampas de ferro ou concreto, com grades de tamanhos e larguras variáveis, em intervenções que vão se multiplicando pela cidade e comprometendo os pavimentos, por serem de fácil deterioração, podendo obstruir umas às outras, sobrecarregando de condutos o subsolo urbano (MASCARÓ, 2005).

Em função do custo da rede de drenagem, que ultrapassa 55% do custo total da infraestrutura, torna-se fundamental reduzi-la. Com vistas a isso, devem-se criar sistemas menos impactantes ao meio natural, tais como sistemas alternativos de drenagem que sobrecarreguem minimamente as redes artificiais, de modo que possam complementá-las e absorver as águas do solo em sua própria origem. Assim, deve-se buscar impermeabilizar o mínimo possível os espaços urbanos, com o intuito de permitir que as águas pluviais penetrem no solo e recarreguem os aquíferos locais de modo natural (GOUVÊA, 2008).

Quando o sistema de drenagem de águas pluviais está bem integrado ao urbanismo, passa a compor a paisagem urbana, valorizando-a em menor ou maior grau, conforme sua abordagem. Nesse sentido, o sistema de drenagem não está representado apenas pelos elementos de infraestrutura e pode ser conceituado como o conjunto de medidas indispensáveis para minimizar os riscos a que a sociedade está sujeita e reduzir os prejuízos ocasionados pelas inundações, viabilizando o desenvolvimento urbano de modo harmônico e articulado com as demais atividades urbanas (FONTES, 1999; SOUZA, 2013).

Morelli e Barbassa (2009) ressaltaram que, ao se pensar em aspectos urbanísticos, o desenho da cidade e a forma como a área está ocupada resultam do planejamento urbano, que é responsável, em grande parte, pelas consequências da urbanização sobre o meio ambiente. Barros, Carvalho e Montandon (2010) asseveraram que, por muito tempo, ao se fazer o planejamento urbano, os serviços públicos beneficiavam exclusivamente aqueles bairros de cidades brasileiras que atraíam a atenção dos planejadores. Sendo assim, essas regiões recebiam uma parcela desproporcional de investimento do orçamento municipal. Em 2003, a partir da criação do Ministério das Cidades, com a tarefa de apoiar o Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001), se procurou atenuar essa situação. Em consequência, um aparato legal para a reformulação urbana começou a ser formado, somado às leis já existentes, com o fito de viabilizar a ordenação e a orientação para o desenvolvimento das cidades.

3.2 Legislações associadas ao planejamento urbano e à drenagem de águas pluviais urbanas

A partir da década de 1960 até os dias atuais, um aparato legal tem sido desenvolvido, de sorte a orientar e regulamentar o planejamento urbano e o saneamento nas cidades brasileiras, respeitando-se aspectos sociais em equilíbrio com o meio ambiente. Neste

trabalho, são apresentados aspectos fundamentais das leis e normas associadas ao planejamento e à drenagem urbana em suas diversas esferas.

Visando conter as lutas dos movimentos sociais camponeses, em 1964, aprovou-se o Estatuto da Terra, Lei nº 4504 (BRASIL, 1964), marco institucional da reforma agrária, definindo a forma legal para disciplinar o uso e a ocupação do solo rural para fins de desapropriação da terra (BARROS; CARVALHO; MONTANDON, 2010; CLEPS JUNIOR, 2010).

Outros atos normativos se seguiram visando regular o uso da terra, alguns com foco na preservação ambiental. O novo Código Florestal, de 2012, Lei nº 12.651 (BRASIL, 2012a), por exemplo, visa proteger a vegetação nativa, sendo aplicado às propriedades privadas com regras para conciliar a preservação dos ecossistemas com os interesses dos produtores agrícolas. Define que todas as glebas agrícolas precisam manter Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL) para proteger as florestas e usá-las de modo sustentável. Também ordena o uso das faixas marginais de qualquer curso d'água natural, perene ou intermitente, e de reservatórios de águas em áreas muito íngremes, tais como em topos de morro e em grandes elevações. Dado que as APPs são áreas de preservação exclusiva, que têm o papel de preservar os recursos hídricos e as áreas de recarga, não podem ser utilizadas para atividades agropecuárias, extração florestal ou fins recreativos. Sua definição independe do tamanho da propriedade, sendo igual em todo o Brasil. Já a RL é definida como a área localizada no interior da propriedade ou posse rural que deve ser mantida com sua cobertura vegetal nativa, por ser esta vegetação necessária ao abrigo e à proteção da fauna e da flora nativas, à conservação da biodiversidade e à reabilitação dos processos ecológicos para viabilizar o uso sustentável dos recursos naturais.

Tal disciplinamento do uso do solo incide sobre a necessidade não apenas de preservação ambiental, mas de criação de condições propícias em aspectos que levem à melhoria de gerenciamento dos recursos hídricos. Esse gerenciamento visa a preservação de áreas de recarga de aquíferos, áreas de sistemas frágeis e o disciplinamento do uso do solo urbano.

Diante da pressão social para a reforma urbana, a Constituição da República Federativa do Brasil dedicou seu Capítulo II à política urbana, detalhada em seus art. 182 e 183 (BRASIL, 1988). Em seu art. 182, estabeleceu que a política de desenvolvimento urbano deve ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes e definiu que o instrumento básico desta política é o plano diretor. Já em seu

art. 183, instituiu que todo aquele que possuir área urbana de até 250 m², por cinco anos ininterruptos, utilizando-a para sua moradia e não sendo proprietário de outro imóvel urbano ou rural, adquirirá o seu domínio (BARROS; CARVALHO; MONTANDON, 2010; CLEPS JUNIOR, 2010).

A Lei nº 6.766 (BRASIL, 1979), promulgada 15 anos após o Estatuto da Terra (BRASIL, 1964), definiu aspectos para o parcelamento do solo para fins urbanos, permitindo que os estados, o Distrito Federal e os municípios estabeleçam normas complementares de parcelamento, deste modo possibilitando ajustes da lei às peculiaridades regionais e locais. Essa lei diferencia solo urbano do rural, de acordo com suas principais funções: solo urbano para moradia, circulação, lazer e trabalho; solo rural, conforme a natureza das terras para agricultura e/ou pecuária. A Lei nº 9.785 (BRASIL, 1999) alterou a Lei nº 6.766 (BRASIL, 1979), do parcelamento do solo, delegando ao município, por meio de lei municipal ou plano diretor, a definição de áreas destinadas a sistemas de circulação, a implantação de equipamento urbano e comunitário, bem como de espaços livres de uso público, todos proporcionais à densidade de ocupação.

O planejamento urbano teve sua institucionalização disseminada nas administrações municipais na década de 1970, em um acentuado processo de urbanização no Brasil, com a missão de promover o desenvolvimento integrado e o equilíbrio das cidades. Porém, até a aprovação do Estatuto da Cidade, Lei nº 10.257 (BRASIL, 2001), a paisagem urbana registrava o bloqueio no acesso à terra e a promoção da exclusão socioespacial. Marco da reforma urbana no Brasil, atendendo aos art. 182 e 183 da Constituição Federal (BRASIL, 1988), o Estatuto da Cidade, regulamentado 13 anos após a Constituição Federal, apresentou uma nova proposta para a cidade: a ordenação do pleno desenvolvimento de suas funções sociais e da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, assim como do equilíbrio ambiental. Sua principal diretriz evidenciou a garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as gerações presentes e futuras. Identificou três grupos de funções sociais da cidade: urbanísticas, de gestão e de cidadania. Em adição a isso, definiu como diretriz da política urbana o princípio da participação popular.

Com o fito de viabilizar as soluções para problemas como saneamento, resíduos sólidos e transportes dentro de uma região metropolitana com gestão associada de serviços urbanos, foi promulgada a Lei nº 11.107, dos Consórcios Públicos (BRASIL, 2005), originada

das associações dos municípios. Essa lei tornou possível a articulação entre entidades públicas, pessoas jurídicas e políticos, permitindo a gestão associada de serviços, sendo o Tribunal de Contas o órgão fiscalizador do prefeito, responsável pelo consórcio.

Na continuidade de orientações para regulação e reforma urbana, buscando fortalecer ações voltadas para a infraestrutura urbana, a Lei nº 11.445, ou Lei Nacional da Política do Saneamento Básico (BRASIL, 2007a), tornou-se o marco regulatório do saneamento, definindo suas quatro modalidades, que são: abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e manejo de águas pluviais. Com esse diploma legal, passou a ser exigida a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico e dos Planos Municipais de Saneamento Básico, buscando a universalização do acesso aos serviços. Mediante a exigência de regulação, essa lei estabeleceu padrões e normas para a prestação dos serviços e para a garantia do cumprimento das metas. Também definiu orientações para tarifas com o intuito de coibir abusos do poder econômico e delegou mais responsabilidades aos titulares das questões de planejamento, regulação e fiscalização para a drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas, observando-se a necessidade de controle social.

No Brasil, a elaboração de planos diretores de desenvolvimento urbano como instrumento urbanístico data de 1930, quando o primeiro, denominado Plano Agache, foi elaborado no Rio de Janeiro pelo arquiteto francês Alfred Agache. Na década de 1970, ocorreu a consolidação da clivagem da paisagem urbana, ou seja, parte das cidades brasileiras demonstrava melhor condição de urbanidade, enquanto outra parte, duas a três vezes maior do que a anterior, evidenciava a inexistência de adequada infraestrutura, o que retratava a desigualdade que se traduzia em situação de exclusão territorial (ROLNIK, 2001).

O plano diretor busca fornecer soluções para problemas das cidades contemporâneas, destacando-se a questão ambiental, o manejo das águas e a problemática do saneamento ambiental. Como afirmaram Moura, Baptista e Barraud (2009), os impactos hidrológicos da urbanização, potencializados pelas concepções higienistas, têm sido intensamente descritos na literatura técnica. Isso tem ocorrido especialmente no que se refere à redução da infiltração e da aceleração do escoamento, que podem culminar em inundações urbanas quando da ocorrência de eventos extremos, deixando em situação de atenção zonas inteiras de cidades e regiões metropolitanas. Na opinião de Santos Júnior e Montandon (2011), os planos diretores aprovados pelos municípios não têm se mostrado eficazes na produção de diretrizes, ações, instrumentos e programas para a universalização do acesso aos serviços de saneamento. Assim, um grave problema se apresenta, porquanto o acesso à terra

urbanizada e bem localizada necessita tanto da existência dessas ferramentas quanto de sua utilização de modo eficiente.

Em cumprimento ao Estatuto da Cidade, com a Lei Complementar nº 171, o Plano Diretor de Goiânia (GOIÂNIA, 2007), instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, obrigatório para cidades com mais de 20.000 habitantes que compõem uma região metropolitana ou de aglomerações urbanas ao se considerar todo o município, almejou-se efetivar novos instrumentos urbanísticos destinados à democratização do acesso à cidade. Por intermédio dessa lei, procurou-se articular e integrar ações de gestão e proteção ambiental de áreas verdes, reservas hídricas, saneamento básico, macrodrenagem, condições geológicas, tratamento dos resíduos sólidos e monitoramento da poluição.

O Plano Diretor de Goiânia passou por reformulação por meio da Lei Complementar nº 246 (GOIÂNIA, 2013a), que entrou em vigor em maio de 2014, pois em virtude de não haverem sido realizadas as audiências públicas exigidas pelo Estatuto da Cidade, a pedido da sociedade organizada foi suspensa pelo Ministério Público de Goiás. Em interface com a drenagem de águas pluviais urbanas, a lei atual alterou o art. 128 da lei anterior ao tratar do índice de permeabilidade mínimo de 15%. Incluiu, entre suas exigências, a construção de poço de infiltração em lotes para todas as edificações, independentemente de seu porte e uso, a fim de garantir a recarga do lençol freático, porquanto as áreas permeáveis exigidas anteriormente não eram passíveis de fiscalização. Adicionalmente, estabeleceu índices paisagísticos, detalhando o tipo de vegetação a ser adotado na cidade em nível de lote.

Para implementar medidas sustentáveis, há necessidade de desenvolver o plano diretor de drenagem urbana, uma vez que o problema das inundações em áreas urbanas existe em muitas cidades brasileiras e suas causas são diversas, como assoreamento do leito dos rios, impermeabilização das áreas de infiltração na bacia de drenagem ou fatores climáticos. Como o objetivo principal do plano diretor de drenagem urbana é criar mecanismos de gestão da infraestrutura urbana, relacionados com o escoamento das águas pluviais e dos cursos d'água em área urbana, dentro de princípios econômicos, sociais e ambientais, este deve visar o melhoramento das condições de saneamento e da qualidade do meio ambiente da cidade (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2005).

Para Goiânia, foi elaborado um Plano Diretor de Drenagem Urbana (GOIÂNIA, 2013b), destinado a regulamentar o art. 128 da Lei Complementar nº 171 (GOIÂNIA, 2007). Nele, foram estabelecidas regras de controle de captação de águas pluviais e drenagem urbana para o município de Goiânia. Seu objetivo principal é promover a retenção e a infiltração das

águas superficiais, de forma a manter o hidrograma natural, a reposição do lençol freático, bem como a sua disposição para o reuso, adotando, de forma sustentável, as estruturas de drenagem alternativas ou compensatórias. Também definiu que o fundo dos poços de infiltração deve ficar afastado, no mínimo, 1,50 m do nível do lençol freático.

Além disso, Goiânia possui um Plano Diretor de Arborização Urbana (GOIÂNIA, 2008a), instrumento elaborado para a implantação das políticas de plantio, preservação, manejo e expansão da arborização na cidade, a ser implementado pela Agência Municipal do Meio Ambiente. Esse Plano Diretor de Arborização Urbana visa garantir melhor qualidade de vida e equilíbrio ambiental, tratando a arborização como instrumento de desenvolvimento urbano, integrando a população e os órgãos públicos para a sua manutenção e preservação.

Por fim, no rol de leis para Goiânia de interesse para esta dissertação, tem-se o Código de Obras (GOIÂNIA, 2008b), que ordena as edificações na cidade e estabelece, entre outras, regras para a destinação de águas pluviais originadas de seus telhados, orientando que sejam canalizadas e direcionadas a poços de infiltração, ao reuso e, por último, à sarjeta. Essa lei proíbe despejo de águas pluviais em lotes vizinhos e calçadas, mas permite a utilização dos lotes vizinhos para a passagem de tubulações enterradas em virtude de desníveis. O Código de obras de Goiânia também proíbe despejos de águas pluviais em rede de esgoto e vice-versa.

Alguns aspectos relativos à legislação e à dificuldade de articulação com as políticas públicas devem ser ressaltados. Nessa perspectiva, pode-se mencionar que algumas definições são contraditórias entre os vários instrumentos disponíveis, o que demonstra certa desconexão entre eles. Assim, no atual Código Florestal (BRASIL, 2012a), como nos planos diretores dos vários municípios, podem existir diferentes índices de ocupação sobre os mesmos aspectos. Soma-se a isso a debilidade técnica das instituições que lidam com a drenagem, pois apresentam grande dificuldade em avançar no tratamento das águas urbanas por meio da simples aplicação da lei, uma vez que lhes faltam instrumentos operativos adequados, entre os quais, equipe qualificada (SOUZA, 2013).

Os instrumentos de planejamento ambiental devem ser compostos por ações preventivas e normativas, com o intuito de controlar os impactos territoriais negativos dos investimentos público-privados sobre os recursos naturais das cidades. Assim sendo, deve-se procurar evitar a subutilização de espaços dotados de infraestrutura e a degradação urbana, infundindo maior eficiência à conservação do patrimônio ambiental urbano (BRASIL, 2014).

Nas cidades e regiões metropolitanas, o plano diretor participativo justifica-se como ferramenta de vital importância no planejamento, pois além de ser útil para orientar o detalhamento de projetos e regulamentos, também compreende um conjunto de compromissos dos gestores, permitindo que seja cobrado o cumprimento de diretrizes e exigências nele contidas. O controle do uso e ocupação do solo é um dos meios de se ordenar o desenvolvimento urbano, devendo ser realizado de forma articulada com os programas de obras viárias e de transportes coletivos, de prevenção de inundações e de preservação do meio ambiente.

É imprescindível que a legislação urbanística seja observada e respeitada, pois a ocupação urbana desordenada resulta em uma série de impactos ambientais, econômicos e sociais, culminando com o aumento da velocidade do escoamento superficial, o que sobrecarrega a rede de drenagem urbana. Portanto, os parâmetros urbanísticos se tornam indispensáveis na ordenação do espaço, como forma de estimular o planejamento urbano de maneira sustentável no que se refere ao manejo das águas pluviais urbanas (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011). Como observado por Tucci (2012), existe a necessidade de se adotar uma estratégia de gestão integrada das águas urbanas, com o objetivo de promover uma inter-relação entre os sistemas que compõem o saneamento e o planejamento urbano, dialogando com a legislação e a gestão pública, de tal sorte a alcançar melhor qualidade de vida e equilíbrio do meio ambiente.

No âmbito das IFES, os planos diretores são documentos com funções equivalentes aos planos diretores municipais em um universo limitado, definindo parâmetros de ocupação urbana e norteando a expansão e o adensamento dos espaços no âmbito dos *campi* universitários, bem como sua integração à cidade na qual estão inseridos ou ao entorno daquelas em sua proximidade. Por isso, os planos diretores se destacam como ferramenta para ordenar o uso do solo nos *campi* ou cidades universitárias, assim como para limitar a impermeabilidade do solo e o adensamento das edificações, sistematizando medidas que busquem melhorar as condições ambientais locais.

Mendonça (2004) relatou que o Plano Diretor Urbano do *Campus* Samambaia da UFG foi elaborado em 1969, reformulado em 1976 e revisado em 1984. Portanto, há 30 anos não passa por revisão ou atualização, a despeito da expansão física sem precedentes desses últimos anos. Esse plano limitou-se a mencionar que a drenagem natural das águas pluviais deve ser mantida e que a vegetação nativa deve ser preservada.

No início do Reuni, a UFG encomendou a uma equipe terceirizada de arquitetos paisagistas e urbanistas o Plano Paisagístico, um projeto detalhado restrito ao trecho do anel viário do *Campus* Samambaia. Esse plano contempla a definição de ajustes ao desenho urbano existente, com criação de novas quadras para implantação de edifícios resultantes do Reuni, bem como uma completa reordenação do sistema viário e suas conexões, incluindo a execução de novas áreas de estacionamento e toda a orientação paisagística, envolvendo arborização e equipamentos urbanos.

Em suma, todo o aparato legal desenvolvido para o planejamento urbano deve ser observado com atenção, de modo a evitar que se adote alguma solução contraditória ao estabelecido. Em esferas distintas, embora integradas, as leis podem subsidiar as expansões de loteamentos/*campi* universitários existentes na cidade. Para isso, é primordial observar os parâmetros por elas determinados, porquanto eles orientarão e/ou limitarão a expansão urbana com foco em desenvolvimento integrador e equilibrado dos pontos de vista territorial, econômico e social. Vale destacar ser desejável que a legislação não se transforme em uma ferramenta que beneficie uma minoria privilegiada em detrimento de outra parcela, muito maior, excluída da “cidade legal”, devendo sempre prevalecer a visão de inclusão social nas cidades brasileiras.

3.3 Desenvolvimento de baixo impacto em drenagem de águas pluviais urbanas

Por estarem preferencialmente localizadas próximas a cursos d’água, as cidades usufruem de seus benefícios, especialmente pela facilidade de suprimento e a evacuação de dejetos. Porém, elas também sofrem interferências por essa proximidade, como inundações e contaminações dos rios, que podem provocar doenças de veiculação hídrica, além de riscos às vidas humanas em função das ocupações ribeirinhas (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Como as inundações acarretam riscos à saúde e à qualidade de vida das pessoas, bem como prejuízos econômicos e sociais, torna-se necessária a busca do equilíbrio entre ciclo hidrológico e meio urbano, evitando-se urbanizações desordenadas. A dificuldade da gestão das águas pluviais urbanas em interface com as interações sociais se reflete nos conflitos do espaço urbano (POLETO, 2011; TUCCI, 2008).

O processo de urbanização sem o devido planejamento e a adequada gestão transforma a paisagem natural em solo com cobertura impermeável, afeta o equilíbrio do ecossistema, em especial dos corpos d'água e das comunidades localizadas a jusante, provocando alterações no tempo de pico e no volume do escoamento das águas pluviais (BAPTISTA et al., 2013; DAMODARAM; ZECHMAN, 2013).

Nesse contexto, a drenagem urbana pode ser considerada como o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de transporte, detenção ou retenção de águas pluviais para o amortecimento de vazões de cheias, com tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas (MARTINS, 2014).

As primeiras obras de evacuação das águas pluviais e cloacais datam da Idade Antiga e eram associadas ao desenvolvimento urbano. Os preceitos higienistas preconizavam a canalização e o controle dos cursos d'água em meio urbano na busca da redução de doenças de veiculação hídrica. Na Idade Média, havia uma ocupação das cidades que evidenciava a desigualdade social vigente, pois a população menos favorecida ocupava as áreas mais baixas, sujeitas a inundações, para onde iam as águas servidas originadas na parte alta da cidade, habitada pela parcela rica da população. Os sistemas de evacuação de águas pluviais que haviam sido muito utilizados na Idade Antiga caíram em desuso, dando origem à chamada “cidade pútrida”, termo usado para designar as cidades medievais, pois a lama e o esgoto se misturavam nas ruas, exalando odores insuportáveis (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

A preocupação com a insalubridade urbana teve início no século XVI, com obras de canalização e regularização de cursos d'água urbanos, os quais foram transformados em esgotos sanitários. No século XIX, o aumento das aglomerações urbanas trouxe consigo dificuldades e desconforto, fruto da precariedade da infraestrutura de controle das águas urbanas, tanto do meio natural quanto de origem pluvial e servidas. Como resultado, houve epidemias de cólera e tifo que assolaram a Europa. Nesse momento, os estudos de microbiologia e epidemiologia apontaram as águas pluviais como transmissoras de diversas doenças. Assim, os aspectos sanitários sob influência dos preceitos positivistas, voltados para o maior controle técnico sobre o meio natural e a ordem social, foram fundamentais para uma mudança radical de relações entre o urbanismo e as águas existentes nas cidades, conduzindo à evacuação rápida das águas pluviais e servidas, conhecido como *tout à l'égout*, a rede de drenagem, que passou a utilizar condutos normalmente subterrâneos, que funcionam por

gravidade, facilitando a circulação viária e o desenvolvimento urbano (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

A partir da constatação que a maior parte da população mundial viria a se concentrar em áreas urbanas a partir da segunda metade do século XX, o que causou grande preocupação, esta urbanização afetou diretamente a gestão das águas pluviais urbanas. Com essa preocupação em mente, em meados dos anos 90, ocorreu a busca pela preservação ambiental, tendo início o tratamento do escoamento pluvial por meio de novas tecnologias que preservam o sistema natural, com o objetivo de reduzir as inundações e melhorar a qualidade de vida da população urbana (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011; TUCCI, 2008). O Brasil, por exemplo, já contava com 81% de sua população em área urbana no ano 2000, tendo alcançado praticamente 85% em 2010 (IBGE, 2010).

Baptista et al. (2013) afirmaram que a drenagem urbana convencional se caracteriza como uma das grandes problemáticas enfrentadas pelos gestores do solo urbano na contemporaneidade. A dificuldade na aplicação dos instrumentos urbanísticos resulta em uma expansão urbana desordenada nas áreas de bacias hidrográficas e nos pontos de várzea, elevando os picos de escoamento superficial direto. Diversos prejuízos financeiros, ambientais, estéticos, à saúde e à qualidade de vida da população decorrem dessa abordagem convencional. No entanto, alguns países, como Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Austrália, entre outros, têm experimentado uma abordagem alternativa que tem por fim a sustentabilidade, mediante o planejamento e a adoção de dispositivos que, entre outras funções, reconhecem ecossistemas, tais como jardins, bosques, lagos, entre outros, como mecanismos de controle e tratamento de águas pluviais, integrados às demais atividades urbanas. Trata-se da abordagem de desenvolvimento urbano de baixo impacto ou LID, que vem complementar o sistema convencional de drenagem urbana (TUCCI, 2012).

No Brasil, a ineficiência do uso exclusivo dos sistemas clássicos de drenagem tem incentivado o uso de estruturas compensatórias, empregando dispositivos que promovem a redução e a melhoria da qualidade do escoamento urbano, como microrreservatórios, valas gramadas, trincheiras de infiltração, bacias de biorretenção e pavimentos permeáveis, que contribuem para diminuir a frequência e a intensidade das inundações (MARTINS; PEREIRA, 2011).

Nessa abordagem alternativa em relação à abordagem clássica, são considerados os impactos da urbanização de forma global. À vista disto, a bacia hidrográfica é utilizada como base de estudo, buscando-se compensar os efeitos da urbanização sobre os processos

hidrológicos ao incorporar técnicas compensatórias em suas soluções (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Além do problema quantitativo das águas do escoamento superficial, a qualidade também fica comprometida, pois elas “lavam” ruas e calçadas, carreando os poluentes ali depositados, que se somam aos contaminantes atmosféricos, levando-os até os cursos d’água, especialmente na primeira parcela da chuva (*first flush*), o que contribui para a sua contaminação (DANIEL JÚNIOR, 2013). Como aponta o estudo realizado por Ferreira e Matos (2012), essa contaminação é um fator que agrava a questão do escoamento. Essa afirmação se baseia no fato de que as águas pluviais transportam partículas poluentes suspensas, dissolvidas, coloidais e sólidas, em uma mistura heterogênea, que inclui compostos orgânicos e inorgânicos, nutrientes, óleos e gorduras, além de metais pesados, poluentes resultantes, principalmente, de atividades urbanas e do tráfego.

Em meados dos anos 80, a fim de mimetizar o comportamento hidrológico natural, o conceito LID surgiu no Condado de Prince George, no estado de Maryland, Estados Unidos, como uma estratégia de manejo de águas pluviais e servidas. Para isso, foi empregado planejamento multidisciplinar integrado a práticas de tratamento e controle em pequena escala, usando especialmente a tecnologia de biorretenção. Esse plano inicial avançou para o manejo de águas pluviais e, atualmente, pode utilizar ecossistemas naturais como infraestrutura, conservação e aproveitamento de características de solo e vegetação (PRINCE GEORGE’S COUNTY, 1999; SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

Esse conceito recebeu diferentes nomenclaturas, embora todas tenham o mesmo sentido: *low impact development* (LID), nos Estados Unidos e Canadá; *sustainable urban drainage systems* (SUDS), no Reino Unido; *water sensitive urban design* (WSUD), na Austrália; e *low impact urban design and development* (LIUDD), na Nova Zelândia (POLETO, 2011). No presente trabalho, é adotado o termo americano LID para designar desenvolvimento de baixo impacto.

A abordagem LID surgiu como uma filosofia abrangente, alternativa e inovadora para a gestão de águas pluviais, em que se preconiza o gerenciamento do escoamento pluvial urbano na fonte, mediante o uso de controle em microescala descentralizada e uniformemente distribuída. Essa abordagem faz parte de um novo paradigma de gestão de águas urbanas em que se procura descentralizar o armazenamento da água e o seu movimento dentro da bacia hidrográfica. A aplicação das estratégias de LID pode restaurar as funções do ambiente natural original e reduzir os volumes de escoamento por meio de dispositivos de controle

(CITY OF EDMONTON, 2011). O LID leva em consideração a capacidade de absorção do solo e defende a criação de reservatórios a céu aberto dentro da cidade, em áreas determinadas adequadamente, para reduzir o impacto de eventos de chuvas intensas, de modo que o escoamento superficial dure mais tempo (BUTLER; DAVIES, 2011). Muitos desses reservatórios podem possuir usos múltiplos. Em períodos sem chuvas intensas, podem ser utilizados como áreas recreativas, tais como campos de futebol, teatros de arena ou parques. Dentro dessa visão sustentável, incentiva-se a drenagem com o uso de arranjos o mais próximo possível do cenário natural (MASCARÓ, 2005).

A adoção do LID também objetiva minimizar a extensão de superfícies impermeáveis e mitigar as alterações no equilíbrio natural das águas, por intermédio do reuso e do armazenamento temporário. Adicionalmente, podem ser utilizadas bacias de detenção e retenção para diminuir o pico do fluxo, além de valas com gramíneas ou outro tipo de vegetação para facilitar a infiltração da água e a filtração de poluentes (WHELAN, 1993). Esses dispositivos diferem dos utilizados na drenagem convencional, que privilegia o rápido afastamento das águas pluviais. De acordo com os princípios de LID, normalmente, o controle do escoamento superficial é realizado o mais próximo do local em que a chuva atinge o solo, na fonte. A redução do escoamento se dá por infiltração do excesso de água no subsolo, evaporação, evapotranspiração e armazenamento, que devolvem parte da água para a atmosfera (BRASIL, 2012c). Essas medidas visam mitigar problemas oriundos de alagamentos ou sobrecarga da rede de drenagem convencional com o uso de técnicas compensatórias aos efeitos da urbanização (BUTLER; DAVIES, 2011).

Tucci (2008) afirmou que, no Brasil, ainda são predominantemente utilizados os sistemas clássicos de drenagem urbana, isto é, com aspectos da urbanização baseada nos princípios higienistas, de acordo com os quais se procura transferir o mais rápido possível a água para pontos a jusante. Desse modo, evita-se a proliferação de doenças, o que é necessário em tempos de dengue, malária, chikungunya, entre outras.

Um fator relevante sobre a utilização da abordagem LID é que, em acordo com a visão atual, o sistema de drenagem não pode ficar dissociado da infraestrutura das cidades, devendo ser tratado de forma a compor a paisagem urbana, com o fito de promover sua valorização e integração ao urbanismo. É interessante observar que essas técnicas são de fácil integração aos elementos urbanos e à paisagem das áreas urbanizadas (CARVALHO, 2013; MORAES; BORJA, 2014).

Países em desenvolvimento, como o Brasil, estão atrasados no uso dessas técnicas, uma vez que o controle quantitativo da drenagem urbana é limitado e o controle da qualidade da água residual encontra-se distante de ser atingido. No entanto, a partir de 2000, alguns municípios brasileiros, como Porto Alegre, São Paulo, Santo André e Curitiba, com base em planos diretores de drenagem urbana, passaram a gerir o sistema de drenagem utilizando estruturas de armazenamento (POLETO, 2011; SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

O governo brasileiro criou o programa denominado Apoio a Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis e de Manejo de Águas Pluviais, que contempla intervenções estruturais e não estruturais voltadas para a redução de enchentes e inundações, assim como para a melhoria das condições de segurança sanitária, patrimonial e ambiental dos municípios. No manual elaborado pelo Ministério das Cidades sobre drenagem urbana (BRASIL, 2012c), para viabilizar o projeto de drenagem urbana sustentável, esclarece-se que os princípios adotados são baseados no conceito de desenvolvimento urbano de baixo impacto, traduzidos, muitas vezes, em soluções com maior eficiência e economia se comparadas às soluções tradicionais de drenagem. Como resultado, as condições hidrológicas na área alterada pela urbanização passam a ser similares às verificadas no pré-desenvolvimento. Assim, as áreas urbanizadas apresentam menor nível de escoamento superficial, erosão, poluição das águas e, consequentemente, menores investimentos são demandados para a mitigação de impactos a jusante (BRASIL, 2012c).

No planejamento urbano, o ideal é que a abordagem LID esteja presente desde a definição do traçado. No Quadro 3, podem ser verificados os pontos fortes e fracos dos traçados em malha ortogonal e orgânicos, os mais utilizados. Andar de bicicleta e a pé são consideradas atitudes positivas na questão da habitabilidade, pois contribuem para reduzir as viagens de automóvel e, consequentemente, os poluentes associados às águas pluviais.

O LID pode ser aplicado a novas urbanizações, a loteamentos consolidados na melhoria da infraestrutura existente e em projetos de revitalização urbana de áreas degradadas, pois compõe-se de estratégias de concepção e gestão que visam proteger os recursos hídricos por meio de redução e controle do escoamento superficial. Essas estratégias podem vir acompanhadas de medidas de conservação, técnicas de planejamento localizado e minimização da alteração da topografia do sítio, práticas de gestão distribuídas e integradas em meio urbano, além da educação ambiental. A configuração do traçado pode favorecer essas soluções e melhorar a redução da área impermeável, conforme exemplos apresentados nas Figuras 2 e 3.

Quadro 3. Pontos fortes e fracos da abordagem de traçados em malha ortogonal e orgânicos.

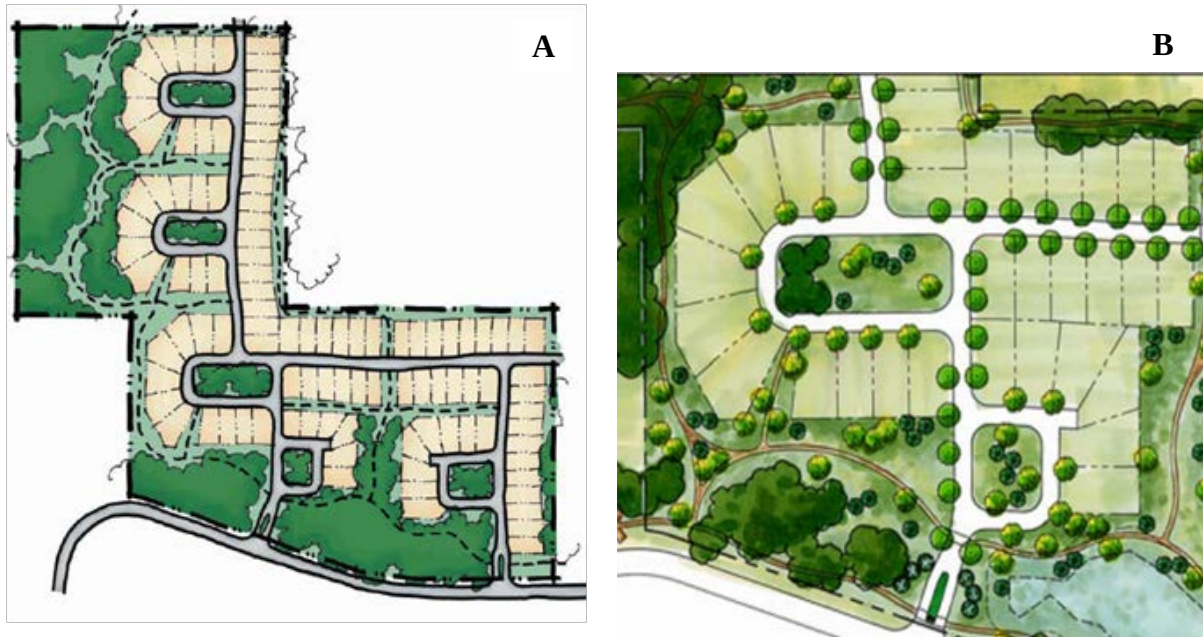
Padrão do traçado das vias	Cobertura impermeável (%)	Alterações realizadas no sítio	Ciclismo, caminhada, trânsito	Segurança	Autoeficiência
Malha ortogonal	27 a 36	Menor possibilidade de adaptação às características do local e à topografia	Melhora acesso de pedestres e ciclistas aos serviços e aumenta o trânsito	Diminui a segurança, pois possibilita aumento do tráfego em toda a área	Acesso mais eficiente, porém disperso por múltiplos pontos
Orgânico	15 a 29	Mais adaptável, evitando interferência nos recursos naturais e reduzindo cortes e aterros no terreno	Geralmente, desencoraja o trânsito através do sistema por demandar mais tempo, ser mais confuso e menos conectado	Pode aumentar a segurança, reduzindo o tráfego de passagem em ruas sem saída	Menos eficiente, pois concentra o tráfego em menos pontos de acesso e interseções

Fonte: Adaptado pela autora com base em Hinman e Wulkan (2012, p. 49).

Figura 2. A. Traçado viário típico em grelha com vielas. B. Traçado viário orgânico com *cul-de-sacs*.

Fonte: Hinman e Wulkan (2012, p. 48).

Figura 3. A. Traçado viário em alça. **B.** Detalhe do traçado viário em alça.



Fonte: **A.** Hinman e Wulkan (2012, p. 49). **B.** Hinman e Wulkan (2012, p. 50).

Na Figura 2A, percebe-se a adoção de traçado em grelha ortogonal, com inserção de vielas (becos) na intenção de minimizar áreas impermeáveis, correspondendo a uma situação bastante desfavorável. O traçado curvilíneo com *cul-de-sac*, apresentado na Figura 2B, demonstra redução no percentual de área impermeável referente às vias. Na configuração do traçado em alça, mostrado na Figura 3A, além da redução de vias, e consequentemente de áreas impermeáveis, a área central aberta criada entre os lotes pode servir para a implementação de elementos de LID, possibilitando, além da redução do escoamento, ganho estético na paisagem urbana pela utilização de espaços comuns verdes e integrados, detalhados na Figura 3B.

De maneira geral, os projetos para ruas residenciais se enquadram em três categorias: grelha ortogonal, orgânicos e híbridos (uma mescla dos dois primeiros). Os traçados em grelha e orgânicos apresentam vantagens e desvantagens. No entanto, padrões de rua em grelha têm uma grande desvantagem no contexto LID: normalmente requerem comprimento de rua 20% a 30% maior do que o total do padrão orgânico, aumentando o escoamento superficial, em termos de drenagem urbana. Assim, na atualidade, planejadores buscam integrar os dois modelos predominantes, de modo a incorporar os pontos fortes de ambos, inovando com o sistema híbrido (HINMAN; WULKAN, 2012).

A Figura 4 ilustra uma rua verde, isto é, uma via na qual estão previstos espaços para implementação de técnicas compensatórias, tais como jardins de chuva e espaços abertos, como incremento da gestão das águas pluviais no projeto urbano. Esse arranjo pode ser adotado não somente para localidades com residências, mas com edificações de diversos tipos de usos, uma vez que a paisagem urbana deve ser mantida próxima de seu aspecto original, da forma mais agradável possível e com configuração para quaisquer tipos de utilizações.

Figura 4. Ruas verdes, que permitem o acesso de pedestres, contendo áreas abertas e de gestão de águas pluviais.



| Residência | Rua verde/Área de biorretenção | Residência |

Fonte: Adaptada pela autora com base em Hinman e Wulkan (2012, p. 51).

Quando o projeto urbanístico interage com a gestão das águas pluviais, ainda que respeite restrições específicas, podem ser potencializados aspectos que valorizem soluções que atendam, simultaneamente, aos objetivos do empreendimento imobiliário e ao tratamento adequado das águas pluviais. A implantação de qualquer sistema de infiltração requer análises criteriosas prévias de engenharia, de modo a se avaliar os riscos de seu uso, tais como os de erosão interna, colapso estrutural do solo e perda da capacidade de suporte do perfil (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011; CARVALHO, 2013).

As técnicas compensatórias formam um conjunto de dispositivos e práticas de gestão dentro do conceito LID, com o objetivo de reduzir os efeitos da urbanização nos processos hidrológicos, buscando garantir melhor qualidade de vida e preservação ambiental nas cidades. Conforme Baptista, Nascimento e Barraud (2011), as técnicas compensatórias podem ser assim divididas:

1) Não estruturais – legislação, racionalização do uso do solo urbano, educação ambiental e tratamentos de fundo de vale.

2) Estruturais

a) Obras pontuais – poços de infiltração, telhados armazenadores e técnicas adaptadas à parcela que levam em consideração as especificidades do local.

b) Obras lineares – trincheiras, valas e valetas e pavimentos com revestimentos permeáveis ou pavimento reservatório.

c) Bacias – detenção e retenção, infiltração, detenção/retenção e infiltração.

Ainda de acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2011), as técnicas compensatórias podem ser classificadas em três metodologias:

1) Técnicas de controle na fonte – utilizadas em pequenos conjuntos e associadas a superfícies reduzidas de drenagem, como poços de infiltração, valas e valetas, microrreservatórios domiciliares e telhados armazenadores.

2) Técnicas lineares – aplicadas a sistemas viários, estacionamento, pátios e arruamentos com grandes áreas de drenagem associadas, tais como: pavimentos permeáveis, valas de detenção, trincheiras de infiltração e planos de detenção e infiltração.

3) Técnicas para controle centralizado – que são bacias de detenção e retenção associadas a áreas de drenagem de maior porte

Inseridas em meio urbano e consideradas como melhores práticas de gestão, elas dependem de processos naturais para gerenciar a quantidade e a qualidade da água, incluindo absorção, infiltração, evaporação, evapotranspiração, filtração através de material vegetal e camadas de solo, potencial absorção de poluentes por meio da vegetação e biodegradação de poluentes por comunidades microbianas do solo (CITY OF EDMONTON, 2011).

Tecedor et al. (2013) esclareceram que alguns critérios devem ser observados na escolha da técnica compensatória, tais como:

1) Aspectos físicos: topografia, existência de aporte permanente de água, exutório permanente, nível do lençol freático, infiltração do solo e estabilidade do subsolo.

2) Urbanísticos e de infraestrutura: disponibilidade de espaço, inclinação e forma do telhado e existência de rede no local.

3) Aspectos sanitários e ambientais: risco de poluição e risco sanitário.

Com relação aos aspectos físicos, a declividade do terreno pode ser restritiva ao uso das técnicas que se baseiam na infiltração, pela alta velocidade do escoamento, o

potencial de erosão do solo ou pouco tempo de contato entre a água pluvial e a superfície (CAPUTO, 2012).

Gonçalves (2013) mencionou a dificuldade em se destacar uma técnica compensatória em relação às demais, pois todas possuem vantagens e desvantagens, a depender da área disponível, das especificidades do terreno, do tipo de controle que se pretende, além dos custos com manutenção. Daí decorre a importância de se adotar o uso combinado de várias técnicas, com o objetivo de tornar o ambiente urbanizado o mais próximo possível da situação natural original.

Algumas das técnicas compensatórias apresentam maior ou menor vocação e possibilidade em suas aplicações. Como mostrado no Quadro 4, existem restrições ao uso de algumas técnicas, o que as torna inviáveis em alguns casos. A impossibilidade de controle da vazão de pico em grandes tempos de retorno, aliada às dificuldades do controle de volumes, da recarga do lençol e do reuso direto, podem significar pouca possibilidade de aplicação de algumas técnicas, chegando, em alguns casos, a torná-la impossível.

No que se refere aos custos, a agência ambiental americana (*United States Environmental Protection Agency – EPA*) divulgou os resultados de um estudo no qual se evidencia a redução dos custos de implantação dos sistemas de drenagem com desenvolvimento de baixo impacto em diversos projetos, em comparação com o custo do sistema convencional, conforme apresentado na Tabela 1 (EPA, 2007). Na Tabela 1, valores negativos indicam custo maior do projeto LID em relação aos custos do sistema convencional. No caso do projeto Mill Creek, os valores estão relatados por lote. Em alguns casos, os custos do projeto com a utilização de LID foram maiores do que os de projetos de manejo de águas pluviais convencionais, porém, na grande maioria dos casos, foram alcançadas economias significativas. De modo geral, a redução de custos variou de 15% a 80% quando se utilizou abordagem LID (EPA, 2007).

A incerteza com os custos necessários à implementação e manutenção dos sistemas de LID é recorrente nos segmentos público e privado. Em seu estudo, Houle et al. (2013) compararam custos de manutenção, demandas trabalhistas, desempenho do sistema de LID e gestão convencional de águas pluviais. Seus resultados apontam que, geralmente, em comparação com os sistemas convencionais, os sistemas de LID têm baixos encargos de manutenção, considerando-se o custo de horas trabalhadas, com a vantagem de propiciar melhor tratamento da água. Como esta realidade pode não ser a mesma no Brasil, é necessário elaborar estudo detalhado para cada situação, inclusive levando em conta o custo da terra.

Quadro 4. Vocação e possibilidades de aplicação das técnicas compensatórias em drenagem urbana.

Técnica	Vocação e possibilidades de aplicação das técnicas							
	Área de drenagem controlada	Controle de vazão de pico			Controle de volumes	Recarga do lençol	Reuso direto	Controle da erosão a jusante
		TR pequenos (até 5 anos)	TR médios (até 30 anos)	TR grandes (até 100 anos)				
Bacias de detenção/retenção	Grande (> 16 ha)	P	P	V	N	N	V	V
Bacias de infiltração	Média	P	P	V	P	P	V	P
Valas e valetas de detenção	Pequena-média	V	V	N	N	N	N	V
Valas e valetas de infiltração	Pequena-média	V	V	N	P	P	N	V
Pavimentos porosos	Pequena-média	P	V	N	V	V	N	V
Revestimentos permeáveis	Pequena-média	V	N	N	V	V	N	V
Trincheiras de detenção	Pequena (< 4 ha)	P	V	N	N	N	N	V
Trincheiras de infiltração	Pequena	P	V	N	P	P	N	V
Poços de infiltração	Pequena	P	V	N	P	P	N	V
Telhados armazenadores	Pequena	P	V	N	N	N	V	V
Reservatórios individuais	Pequena	P	V	N	N	N	V	V

P: adaptada; V: pode ser adaptada; N: pouco adaptada ou mesmo impossível.

Fonte: Baptista, Nascimento e Barraud (2011, p. 56).

Tabela 1. Resumo da comparação de custos entre abordagem convencional e sistema de LID.

Projeto	Custo do sistema convencional (US\$)	Custo do LID (US\$)	Diferença de custo² (US\$)	Diferença (%)
2nd Avenue SEA Street	868.803	651.548	217.255	25
Auburn Hills	2.360.385	1.598.989	761.396	32
Bellingham City Hall	27.600	5.600	22.000	80
Bellingham Bloedel Donovan Park	52.800	12.800	40.000	76
Gap Creek	4.620.600	3.942.100	678.500	15
Garden Valley	324.400	260.700	63.700	20
Kensington States	765.700	1.502.900	- 737.200	- 96
Laurel Springs	1.654.021	1.149.552	504.469	30
Mill Creek	12.510	9.099	3.411	27
Prairie Glen	1.004.848	599.536	405.312	40
Somerset	2.456.843	1.671.461	785.382	32
Tellabs Corporate Campus	3.162.160	2.700.650	461.510	15

Fonte: EPA (2007, p. 12).

Uma outra incerteza se refere a como executar adequadamente elementos de abordagem LID em diferentes contextos. Estudos realizados nos Estados Unidos demonstraram que, para se alcançar conclusões significativas sobre o desempenho das duas abordagens, é essencial o desenvolvimento contínuo de um grande banco de dados a longo prazo (CLARY et al., 2011).

O Quadro 5 reúne as técnicas compensatórias estruturais em drenagem urbana, apresentando-se nele nome, conceito e utilização de modo sintetizado. Em alguns casos, indica-se a utilização de nomenclaturas distintas para designar os mesmos dispositivos, com algumas diferenças em sua execução e função.

Quadro 5. Técnicas compensatórias estruturais em drenagem urbana.

TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM DRENAGEM URBANA		
Nome	Conceito	Utilização
Bacias de detenção	Estruturas de acumulação temporária e/ou infiltração de águas pluviais.	Atender o amortecimento de cheias em áreas urbanas para controle de inundações; a eventual redução de volumes de escoamento superficial, no caso de bacias de infiltração; a redução da poluição difusa de origem pluvial em contexto urbano.
TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS LINEARES Dispositivos que apresentam dimensão longitudinal significativa em comparação com sua largura e profundidade. Bastante utilizados em associação com o sistema viário.		
Trincheiras de infiltração e detenção	Técnicas compensatórias lineares implantadas perto da superfície ou a pequena profundidade.	Recolher as águas pluviais de afluência perpendicular a seu comprimento, favorecendo a infiltração e/ou armazenamento temporário.
Valas, valetas, biovaletas e planos de detenção e infiltração, jardim de chuva	Valas: depressões escavadas no solo; Biovaletas: valas dotadas de vegetação e elementos filtrantes; Planos: quando as dimensões longitudinais são próximas às transversais, com profundidades reduzidas.	Recolher as águas pluviais e efetuar o seu armazenamento temporário. Favorecer sua infiltração, evapotranspiração e filtração de poluentes.
Pavimentos permeáveis dotados de estruturas de detenção e infiltração	▪ Dotados de revestimentos superficiais permeáveis; ▪ Dotados de estrutura porosa; ▪ Dotados de estrutura porosa e dispositivos facilitadores de infiltração	Utilizados em sistema viário e áreas de estacionamento, para: ▪ Reduzir a velocidade do escoamento superficial, retendo temporariamente pequenos volumes em sua superfície e infiltrando parte das águas pluviais; ▪ Deter temporariamente as águas pluviais, provocando amortecimento de vazões e alteração temporal nos hidrogramas; ▪ Deter temporariamente as águas pluviais e infiltrar parte delas para amortecer vazões, alterar o tempo nos hidrogramas e reduzir os volumes escoados.
TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS PONTUAIS Utilizadas em uma parcela ou em um conjunto de parcelas, edificação, trecho de estrada, ocupando espaços localizados e reduzidos, drenando superfícies de pequeno a médio porte.		
Poços de infiltração	Dispositivos pontuais com pequena ocupação de área superficial, podendo ser alimentados diretamente pela rede ou pela superfície do terreno	Utilizados para evacuar as águas pluviais diretamente no subsolo, por infiltração, contribuindo para a alimentação da vegetação circundante e do lençol subterrâneo.
Telhados armazenadores Tetos verdes Telhados verdes	Coberturas de edificações vegetalizadas ou não. Vegetalização intensiva: telhado com jardim acessível. Vegetalização extensiva: cobertura vegetal simples.	Armazenamento provisório das águas pluviais nos telhados e restituição de uma vazão amortecida à rede de água pluvial ou a um outro exutório. Quando vegetalizados, servem de proteção térmica, contribuindo para o isolamento térmico da edificação.
Reservatórios individuais	Microrreservatórios domiciliares que permitem utilizar águas pluviais para irrigação, lavagem de automóveis, instalações sanitárias, entre outros.	Controlar o escoamento e o reuso para abastecimento de águas não destinadas a consumo humano.

Fonte: Elaborado pela autora com base em Baptista, Nascimento e Barraud (2011).

A seguir, cada uma dessas técnicas compensatórias estruturais é descrita mais detalhadamente e são apresentadas ilustrações de seus usos, como no parque Rabalder, na Dinamarca, em cidades americanas divulgadas pela EPA, na aplicação em um *campus* universitário na Flórida, no *Campus* da UFSCar, no *Campus* Samambaia da UFG, bem como outros exemplos sem localização definida.

a) Bacias de retenção

As bacias de retenção armazenam temporariamente o excesso das chuvas escoadas. Elas são utilizadas para atender às seguintes três funções principais, em relação à drenagem de águas pluviais: amortecimento das cheias no ambiente urbano para controlar as inundações; redução de volumes de escoamento superficial, quando são bacias de infiltração; e redução da poluição difusa originada das águas pluviais urbanas. Essas bacias são compostas de um volume a ser deixado livre para armazenamento de águas de escoamento e/ou infiltração, chamado de volume de espera, uma estrutura hidráulica de controle de saída, que é uma estrutura de descarga de fundo, e um vertedor de emergência (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011). Além da drenagem, as bacias de retenção possibilitam a criação de espaços multifuncionais, podendo ser utilizadas em períodos de seca como espaços de lazer, a exemplo do Rabalder Park, em Roskilde, Dinamarca (Figuras 5 a 7). No Brasil, algumas cidades no estado de São Paulo e a cidade de Porto Alegre (RS), por exemplo, possuem espaços semelhantes (Figura 8).

Figura 5. Bacia de contenção no Rabalder Park, em Roskilde, Dinamarca.



Fonte: Grozdanic (2013).

Figura 6. Bacia usada para prática esportiva no Rabalder Park, em Roskilde, Dinamarca.



Fonte: Grozdanic (2013).

Figura 7. Planta da bacia de contenção no Rabalder Park, em Roskilde, Dinamarca.



Fonte: Grozdanic (2013).

Figura 8. Espaço multifuncional: bacia de retenção e quadra esportiva em Porto Alegre, RS.



Fonte: Prefeitura de Porto Alegre (2008).

b) Trincheiras

As trincheiras são executadas a pequena profundidade ou perto da superfície do terreno, normalmente recolhendo as águas pluviais no sentido perpendicular ao seu comprimento, como ilustrado nas Figuras 9 e 10. Trata-se de uma técnica linear, que pode ter usos diversificados, com aplicações em canteiros centrais e passeios, ao longo das vias, perto de estacionamentos, jardins, terrenos esportivos e áreas verdes de modo geral (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Bergman et al. (2010 apud CAPUTO, 2012) realizaram um estudo para avaliar o funcionamento de duas trincheiras de infiltração instaladas na área central de Copenhague, Dinamarca, após 15 anos de operação. Os resultados demonstraram que já não operavam tão bem como na época de sua instalação, em função da colmatção, e que o desempenho da infiltração decresceu mais rapidamente nos primeiros anos.

Figura 9. Trincheira de infiltração com alimentação direta.



Fonte: Baptista, Nascimento e Barraud. (2005 apud CAPUTO, 2012, p. 24).

Figura 10. Trincheira implantada em Belo Horizonte pela SUDECAP-MG.



Fonte: Moura (2004 apud CAPUTO, 2012, p. 78).

c) Valas, valetas, biovaletas e planos de infiltração

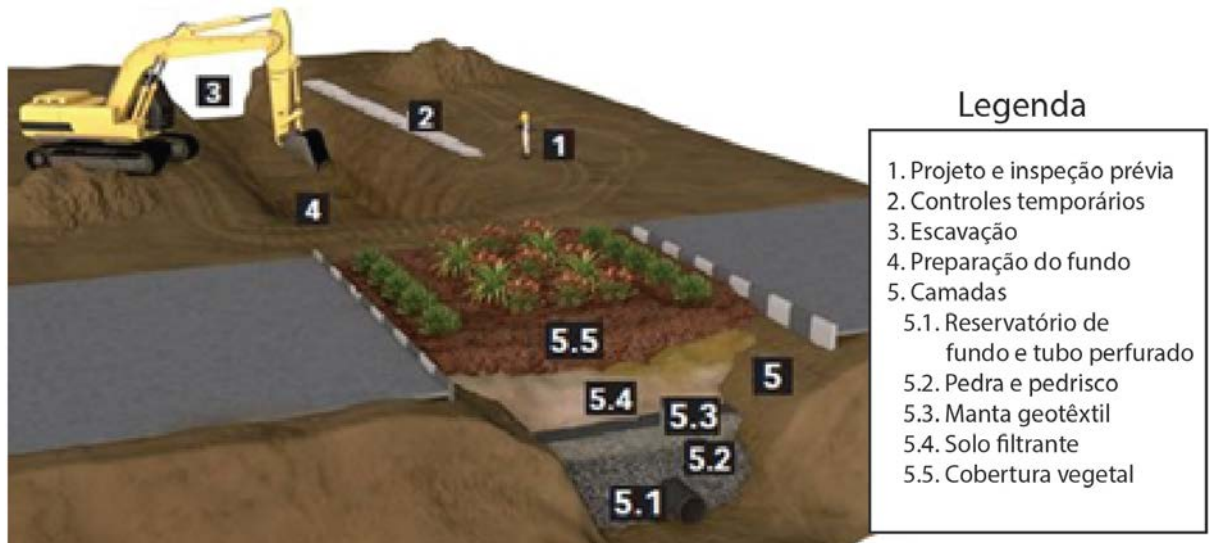
As valas, valetas, biovaletas e planos de infiltração são simples depressões escavadas no solo para recolher as águas pluviais, fazendo o armazenamento temporário. Quando possuem dimensões longitudinais muito superiores às suas seções transversais, são denominadas valas e valetas. As valetas são valas com menor seção transversal. São chamados de planos de infiltração e jardins de chuva quando, além do armazenamento temporário, contribuem para a infiltração das águas pluviais e possuem dimensões de largura e comprimento mais aproximadas. As biovaletas são valas de biorretenção vegetadas, preenchidas com vegetação, solo e elementos filtrantes com o intuito de processar a limpeza da água da chuva ao mesmo tempo em que aumentam seu tempo de escoamento. Normalmente, esses dispositivos são indicados para tratar os escoamentos de água de ruas e estacionamentos, podendo ser colocadas dentro da via, de maneira que se localizem entre o meio-fio e a calçada (Figura 11). Instala-se um filtro de água composto de uma mistura de materiais altamente permeáveis (areia, palha, matéria orgânica de compostagem) e, em seguida, armazena-se a água assim filtrada em uma camada de cascalho subjacente, pela qual ela se infiltra nas águas subterrâneas (Figuras 12 e 13). Esses sistemas melhoram a qualidade da água e recarregam o lençol freático.

Figura 11. Biovaleta em Oregon, Estados Unidos.



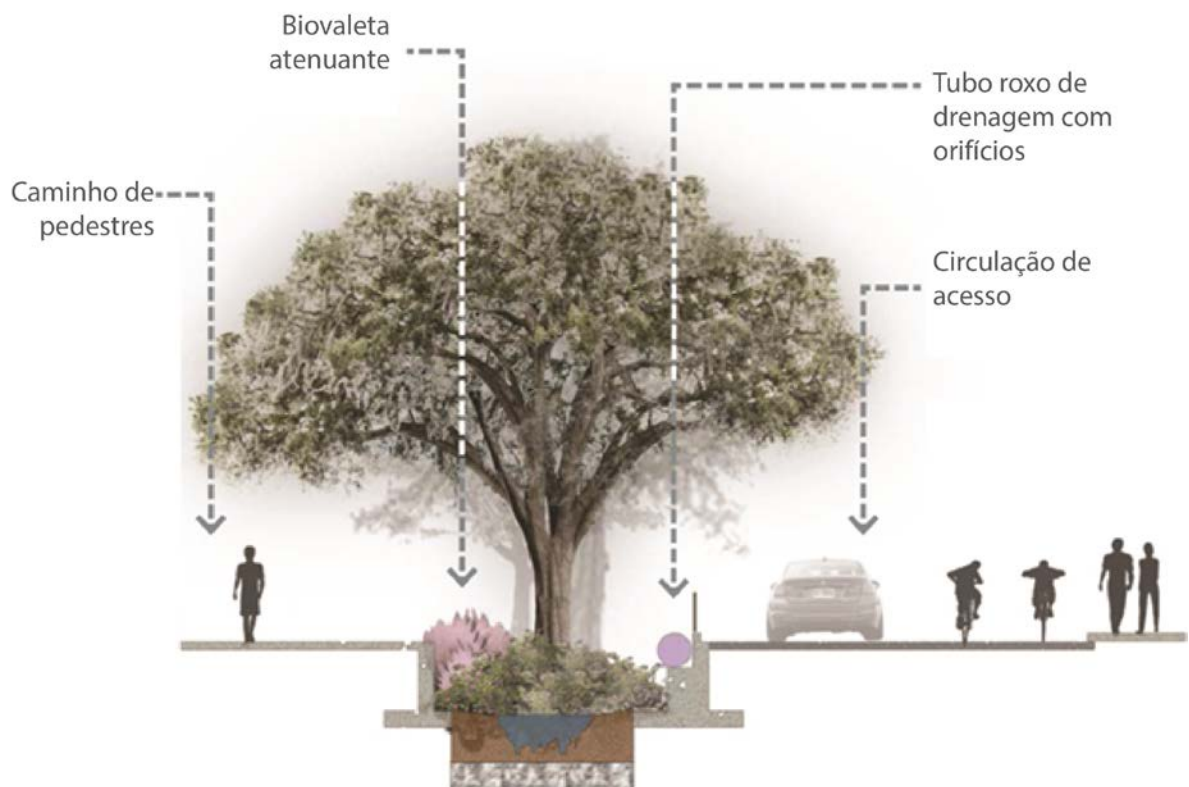
Fonte: LID Center (2008).

Figura 12. Sequência de execução da biovaleta.



Fonte: Corsini e Castagna (2013).

Figura 13. Corte esquemático da biovaleta projetada para a Universidade da Flórida, Estados Unidos.



Fonte: Adaptada pela autora com base em Buesking (2014).

d) Jardins de chuva

Os jardins de chuva são áreas ajardinadas, preferencialmente com plantas nativas, para substituir superfícies com áreas gramadas, as quais devem ser plantadas em áreas rebaixadas, com camadas específicas de solo, areia e matéria orgânica de compostagem. Quando chove, o jardim se enche com alguns centímetros de água e, em seguida, permite que a água infiltre lentamente no solo, em vez de escoar para uma boca de lobo (Figuras 14 a 17).

Figura 14. Jardim de chuva com retenção de água.



Fonte: Goldstein (2014b).

Quando comparados a gramados convencionais, os jardins de chuva permitem que 30% a mais de água se infiltre no solo. As diferentes camadas do jardim de chuva filtram naturalmente o escoamento do sítio, reduzindo substancialmente os poluentes mais comuns, como fertilizantes de gramados e óleos de garagem, e protegendo os corpos d'água receptores.

Figura 15. Jardim de chuva em esquina.



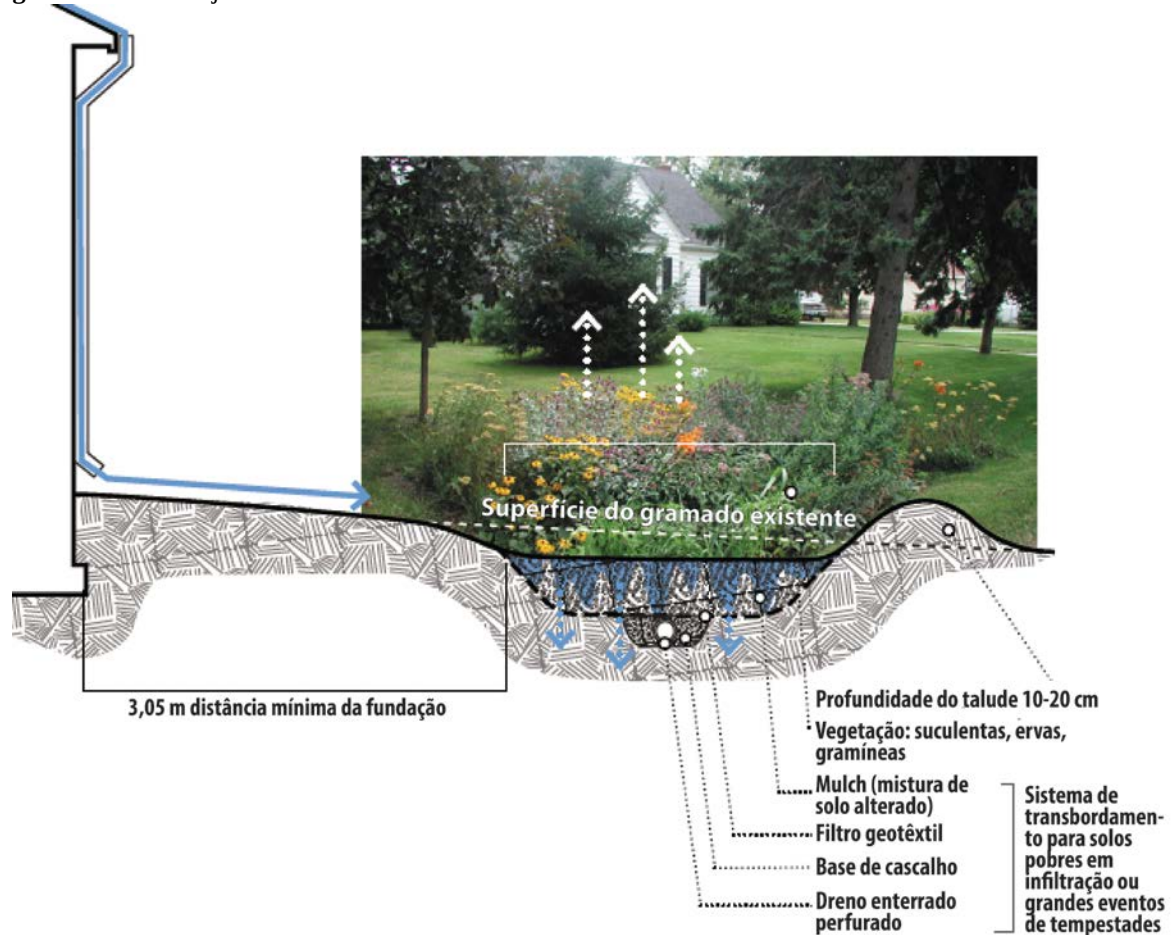
Fonte: Goldstein (2014c).

Figura 16. Jardim de chuva com corte no meio fio.



Fonte: Yazaki et al. (2013).

Figura 17. Perfil do jardim de chuva.



Fonte: Adaptada pela autora com base em University of Arkansas Community Design Center (2010, p. 179).

e) Pavimentos permeáveis e/ou porosos

Os pavimentos permeáveis e/ou porosos são indicados para o controle da produção do escoamento superficial no próprio sistema viário. As superfícies dos sistemas viários e áreas de estacionamento podem corresponder a 30% da área da bacia de drenagem, quando densamente ocupadas. Os pavimentos permeáveis possuem mais espaços vazios ou frestas do que os regulares, permitindo que a água infiltre pela superfície ou pelas laterais do pavimento (Figuras 18 e 19).

Quando dotados de sub-base permeável, ajudam na recarga de águas subterrâneas além de reduzirem o escoamento de águas pluviais, trazendo grandes benefícios ambientais (Figura 20). O asfalto permeável, ainda que limitado por sua fragilidade estrutural e facilidade de colmatagem, tem seu uso indicado para estacionamentos. Embora chegue a custar por volta de 20% a 22% mais do que o asfalto convencional, tem capacidade para absorver um volume de água de 11 a 18 L/min (MAROTTA, 2012).

Figura 18. Aplicação de pavimento permeável.



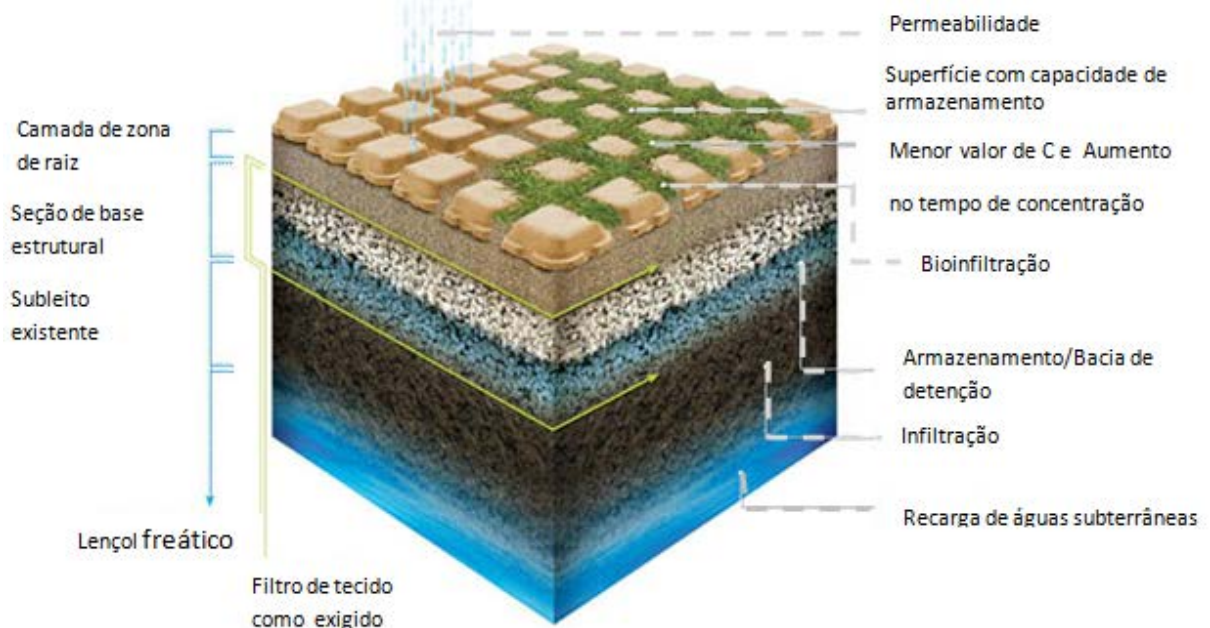
Fonte: Goldstein (2014a).

Figura 19. Estacionamento com pavimento permeável em South Carolina, Estados Unidos.



Fonte: LID Center (2008).

Figura 20. Camadas que compõem o pavimento permeável.

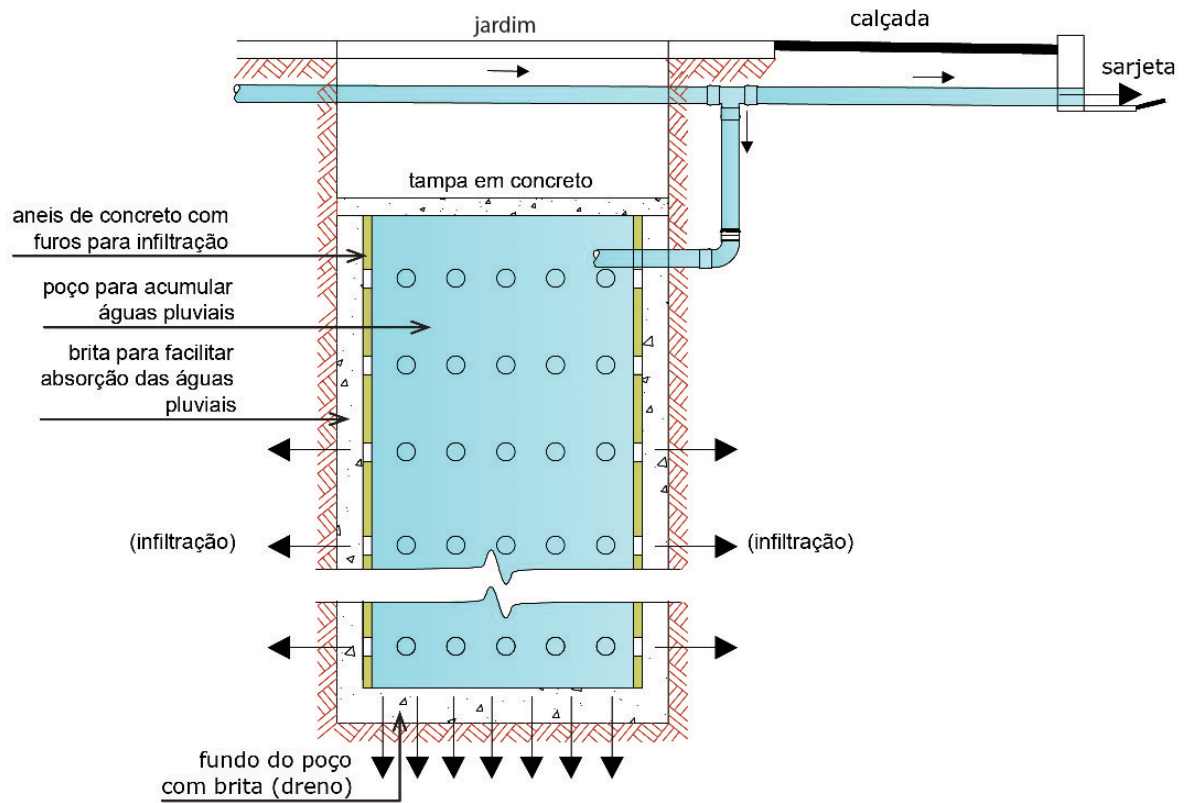


Fonte: Adaptada pela autora com base em Marotta (2012).

f) Poços de infiltração

Os poços de infiltração são dispositivos pontuais que ocupam pequena área superficial, evacuando as águas pluviais diretamente no subsolo, por infiltração. Essas águas pluviais são introduzidas no poço de modo difuso (originadas da superfície do pavimento, orientando sua inclinação para o poço) ou localizado (diretamente pela rede de drenagem), originada de telhados, por exemplo. O poço de infiltração deve ter suas paredes revestidas de tijolos ou manilhas de concreto perfuradas, preferencialmente dotadas de manta geotêxtil e brita para infiltração das águas nas laterais. O fundo deve ser coberto com pedra britada para evitar erosão pelo impacto da água, devendo o solo do fundo possuir uma camada porosa para melhor distribuição do fluxo. É recomendável prever uma zona não saturada de solo de 1,0 m, no mínimo, entre o fundo do poço e o nível de água mais alto do lençol, para reduzir o risco de contaminação das águas subterrâneas por poluentes de origem pluvial. A parte superior deve ser coberta por uma tampa em concreto com manta geotêxtil e solo acima para colocação de vegetação, com vistas a possibilitar a composição do paisagismo, integrando-o ao ambiente urbano. Em algumas situações, a vegetação é substituída por uma camada de pedras ou seixos. Os poços podem ser preenchidos por agregados: areias grossas, pedras ou britas, desde que sua porosidade esteja acima de 30% e seja mantida sua limpeza periódica (Figuras 21 e 22) (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011; SUNJOTO, 1994 apud CARVALHO, 2013).

Figura 21. Detalhe do poço de infiltração.



DETALHE POÇO CHEIO

Fonte: Elaborada pela autora com base no modelo de poço usado em Goiânia (SEMDUS).

Figura 22. Poços de infiltração. **A.** Poço de infiltração no *Campus Samambaia*, UFG. **B.** Poço com manilhas em concreto perfuradas.



Fonte: **A.** Original da autora (setembro, 2013). **B.** Carvalho (2013, p. 114).

g) Telhados armazenadores ou telhados verdes

Os telhados armazenadores ou telhados verdes restituem uma vazão amortecida à rede pluvial ou a um exutório, além de armazenarem provisoriamente as águas pluviais nos telhados. Visam reduzir os efeitos do escoamento, em virtude da implantação de edificações com consequente impermeabilização do solo urbano. Podem ser adaptados a telhados planos ou com declividades inferiores a 5%, desde que compartimentados. Podem ser utilizados sobre novas edificações projetadas com esta intenção ou sobre edifícios já existentes, desde que seja verificada sua estabilidade estrutural e em termos de impermeabilidade (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

No telhado verde, uma mistura de solo é colocada sobre um sistema de membrana impermeável de drenagem e são plantadas espécies de plantas tolerantes à seca. Essas coberturas absorvem águas pluviais e as liberam de volta na atmosfera, por evaporação e pela transpiração das plantas, enquanto ocorre a drenagem do excesso de escoamento. Para a escolha do tipo de telhado verde desejado, deve-se levar em consideração a capacidade máxima de carga da edificação, a manutenção, a seleção de espécies vegetais, o substrato, os custos e as despesas com a manutenção (Quadro 6). O resultado pode ser um jardim com vista valorizada como espaço de contemplação ou um telhado verde simplificado (Figuras 23 a 25), que oferecem ampla gama de benefícios públicos e privados (IGRA, 2014b).

Quadro 6. Critérios a serem utilizados em três tipos de telhados verdes.

Parâmetro	Tipo de telhado verde		
	Extensivo	Semi-extensivo	Intensivo
Manutenção	Baixa	Periodicamente	Alta
Irrigação	Não	Periodicamente	Regularmente
Tipos de vegetação	Musgo, <i>Sedum</i> sp., ervas e gramíneas	Gramas, ervas e arbustos	Gramados ou plantas perenes, arbustos e árvores
Altura do sistema (mm)	60–20	120–250	150–400
Peso (kg/m ²)	60–150	120–200	180–500
Custos	Baixo	Médio	Alto
Uso	Camada de proteção ecológica	Telhado verde projetado	Parque como jardim

Fonte: Elaborado pela autora com base em IGRA (2014b).

Figura 23. Exemplo de um telhado verde extensivo.



Fonte: IGRA (2014a, p. 11).

Figura 24. Exemplo de um telhado verde semiextensivo.



Fonte: IGRA (2014b).

Figura 25. Exemplo de um telhado verde intensivo, com plantação de hortaliças, adotado no Queen Elizabeth Hotel, da rede Fairmont Hotel, em Montreal, Canadá.



Fonte: Carrot City Designing for Urban Agriculture (2014).

Os telhados intensivos se diferenciam dos extensivos. Os intensivos apresentam vegetação de maior porte e permitem sua utilização como espaços de lazer, contemplação ou para cultivo de hortaliças. Já os telhados extensivos cumprem sua função de cobertura com vegetação mais uniforme dos tipos de ervas e gramíneas, sem, no entanto, apresentar oportunidade de utilização pelo homem. Os telhados semiextensivos apresentam uso misto, com vegetação composta de gramíneas e arbustos, sendo predominantemente utilizado para cobertura e permitindo acesso limitado (IGRA, 2014b).

h) Reservatórios individuais

Reservatórios individuais são pequenas estruturas de amortecimento que recebem águas de telhados. Para esse fim, são utilizados tanques pré-fabricados ou executados em alvenaria, concreto, enterrados ou não, ao ar livre ou dentro da edificação, podendo ser conectados ou não ao sistema de drenagem (Figuras 26 a 28). É imprescindível instalar um sistema de pré-filtração em caso de uso da água por bombeamento para impedir a ascensão de sólidos. Além do controle do escoamento, possibilitam a utilização de águas pluviais para abastecimento não destinado a consumo humano por razões sanitárias e de saúde pública, pois não atendem aos requisitos de qualidade (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Figura 26. Reservatório individual enterrado.



Fonte: Reaproveitamento... (2014).

Figura 27. Reservatório individual superficial.



Fonte: Ersson (2014).

Figura 28. Sistema de coleta de água pluvial e filtração.



Fonte: Ersson (2014).

Qualquer que seja o uso, os reservatórios devem ser estanques e construídos com material inerte em relação à água de chuva. Vale ressaltar seu uso crescente no Brasil, sendo sua implantação prevista, sugerida ou até mesmo exigida pelos planos diretores em diversos municípios brasileiros, a exemplo de Porto Alegre, São Paulo e Belo Horizonte (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Considerando essa diversidade de técnicas compensatórias, com inúmeras possibilidades de uso, a escolha daquelas que serão implantadas deve ser feita com base na análise das restrições que cada uma apresenta. É importante conhecer essas restrições em grau de importância, para que a determinação da implantação e operação da técnica mais apropriada ocorra de modo eficiente, conforme demonstrado no Quadro 7.

No Quadro 7, evidencia-se que principalmente as técnicas que geram infiltração no solo merecem maior atenção em sua aplicação, em virtude do maior grau de importância de sua restrição e operação nos aspectos de permeabilidade do solo, declividade, proximidade do lençol freático e do leito rochoso. O aporte de sólidos requer bastante atenção nas bacias de infiltração, valas e valetas de infiltração e pavimentos permeáveis. Entre todas as técnicas descritas, os telhados armazenadores e reservatórios individuais são os que apresentam as restrições de menor grau de importância.

Quadro 7. Importância relativa das restrições de implantação e operação das técnicas compensatórias.

Técnica	Restrições à implantação e operação das técnicas					
	Permeabilidade do solo	Declividade	Proximidade do lençol freático	Proximidade do leito rochoso	Restrições ao uso do solo	Aporte de sólidos
Bacia de detenção	+	+	+	++	+++	++
Bacia de infiltração	+++	+	+++	+++	+++	+++
Valas e valetas de detenção	+	++	+	++	++	++
Valas e valetas de infiltração	+++	+++	+++	+++	++	+++
Pavimentos porosos	++	+++	++	+	+	+++
Revestimentos permeáveis	++	+++	++	+	+	+++
Trincheiras de detenção	+	++	++	++	++	+
Trincheiras de infiltração	+++	+++	+++	+++	++	++
Poços de infiltração	+++	+	+++	+++	+	+
Telhados armazenadores	+	+	+	+	+	+
Reservatórios individuais	+	+	++	++	+	+

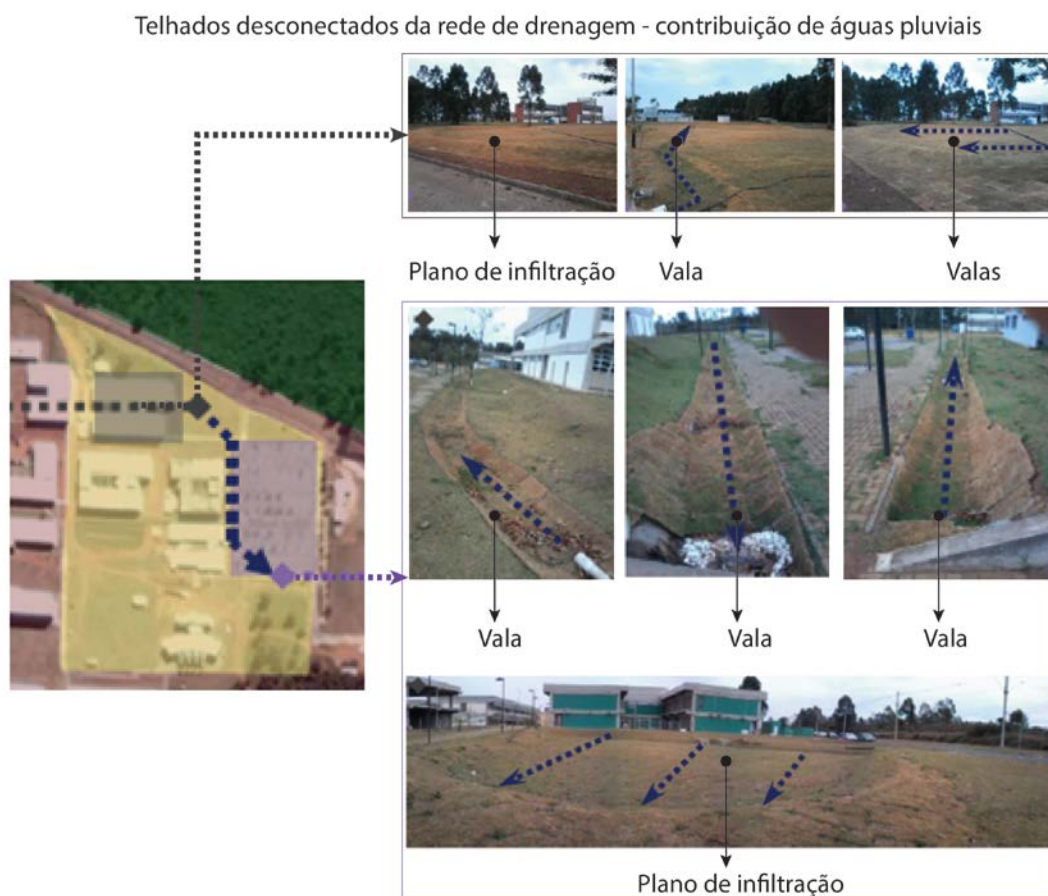
+++; grande importância; ++; média ou possível importância; +; importância pequena ou nula.

Fonte: Baptista, Nascimento e Barraud (2011, p. 55).

Essas técnicas compensatórias tanto podem estar inseridas no meio urbano quanto em espaços destinados ao funcionamento de instituições públicas ou privadas, como as universidades. No caso de *campi* universitários, objeto de estudo desta pesquisa, constituem também uma opção viável, porquanto realizam a redução dos efeitos do adensamento ao mesmo tempo em que podem ser úteis como processo de educação e orientação ao seu uso para a comunidade em geral e, em especial, para a comunidade universitária. Dessa maneira, podem ser simultaneamente utilizadas como dispositivos compensatórios associados ao planejamento urbano e como objetos de estudo e pesquisa científica.

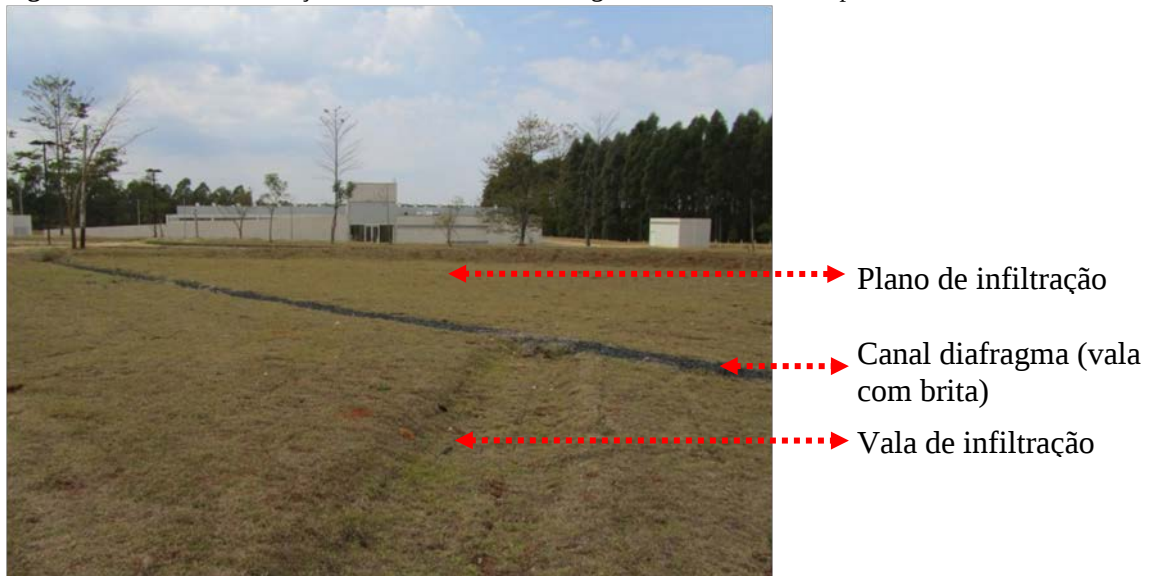
No *campus* da UFSCar, por exemplo, diversos estudos nas áreas de planejamento urbano e hidrologia, com adoção do LID como filosofia de abordagem sustentável, têm sido conduzidos pelo grupo de pesquisa G-Hidro – Sistemas Hídricos Urbanos, em programas de pós-graduação, nos níveis de mestrado e doutorado. Uma parcela localizada na área norte do *Campus* São Carlos da UFSCar foi selecionada como bacia experimental. Nela, algumas técnicas compensatórias implantadas puderam ser verificadas durante visita de campo, tendo sido indicadas como exemplo a ser utilizado no controle da velocidade e da quantidade do escoamento superficial, bem como na melhoria da qualidade das águas pluviais. Conforme Tecedor et al. (2013), foram executados três tipos de técnicas compensatórias na forma de experimentos de pesquisa: plano de infiltração associado a telhados desconectados do sistema convencional de drenagem (Figuras 29 a 31), filtro-vala-trincheira de infiltração (FVT) e poço de infiltração.

Figura 29. Sistema de condução de águas pluviais de telhados desconectados por valas ao plano de infiltração no *Campus* São Carlos, UFSCar.



Fonte: Gonçalves (2013).

Figura 30. Plano de infiltração com vala e canal diafragma executado no *Campus São Carlos, UFSCar*.



Fonte: Original da autora (agosto, 2014).

Figura 31. Desconexão da tubulação pluvial do sistema de drenagem existente no *Campus São Carlos, UFSCar*.



Fonte: Original da autora (agosto, 2014).

Em outro experimento instalado na UFSCar por Lucas (2011), o funcionamento do sistema filtro-vala-trincheira de infiltração, que é uma associação de três técnicas compensatórias, acontece da seguinte forma: primeiro, é realizada a captação da água pluvial do telhado do edifício da Faculdade de Medicina, com direcionamento da água pluvial da superfície pela rede de drenagem predial até uma canaleta distribuidora, na qual é feita a medição da vazão resultante do escoamento superficial. Em seguida, o escoamento é distribuído para o filtro gramado, que contribui com a redução do escoamento por meio de infiltração e armazenamento em depressões e na remoção de poluentes. Posteriormente, as

águas são conduzidas para a vala de infiltração, onde ocorrem perdas por armazenamento e, após o escoamento pela vala, as águas são retidas na trincheira de infiltração; porém, em caso de extravasamento, são encaminhadas para a rede convencional existente (Figura 32).

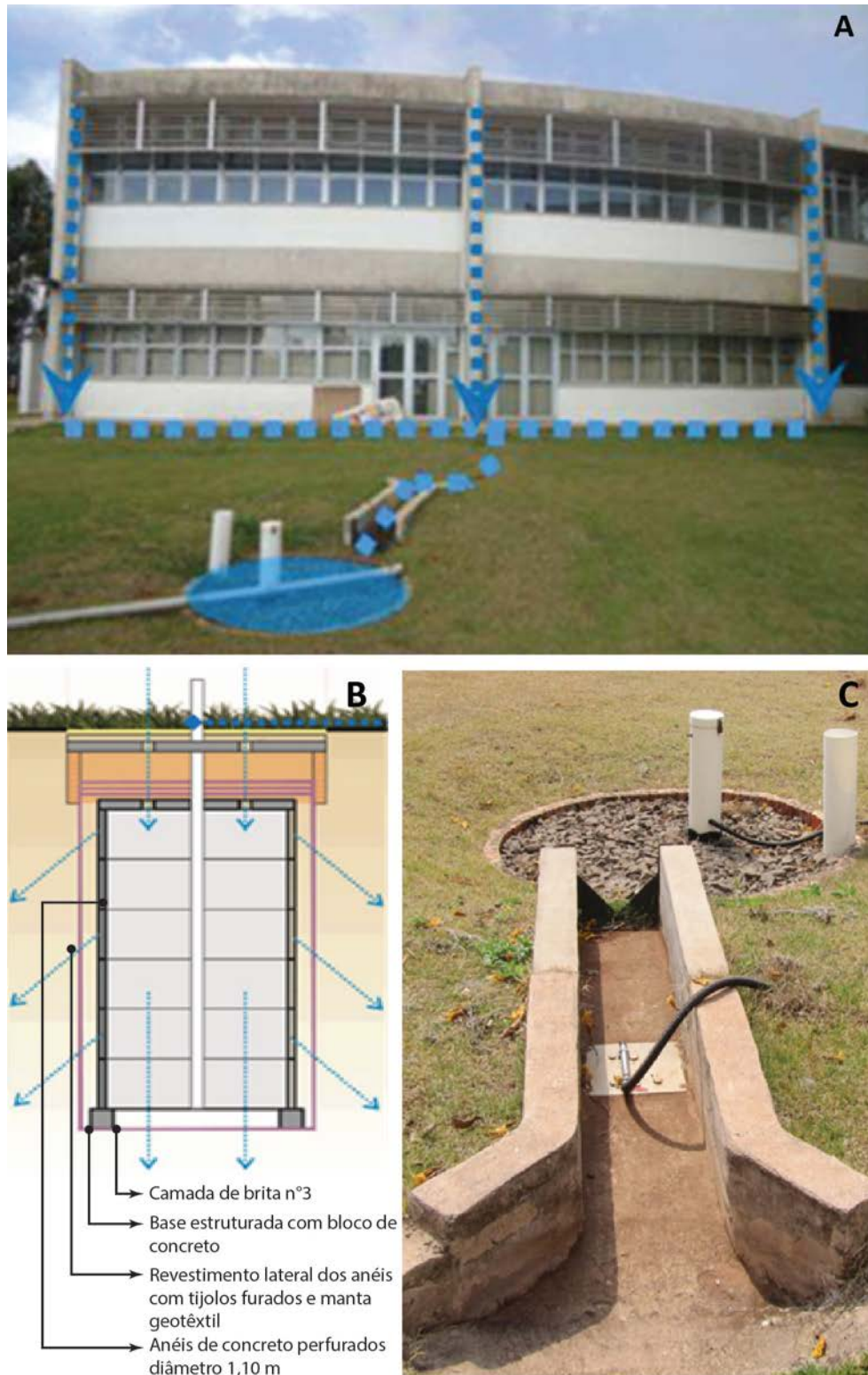
Figura 32. Sistema filtro-vala-trincheira implantado no *Campus São Carlos, UFSCar*.



Fonte: Gutierrez et al. (2010 apud LUCAS, 2011, p. 56).

Além das técnicas lineares, uma técnica pontual, o poço de infiltração apresenta as seguintes vantagens: utiliza pequenas áreas superficiais, conta com a infiltração das laterais do perfil mais a área do fundo e disponibiliza um volume razoável para a reserva de água (detenção) nos momentos de pico das chuvas (CARVALHO, 2013). Implantado para coletar a água pluvial, proveniente de telhados desconectados do sistema convencional de drenagem (rede), que escoam pela superfície da área gramada (filtro gramado), o poço de infiltração apresentado na Figura 33 foi o modelo utilizado na UFSCar. Construído com anéis de concreto perfurados, com 1,10 m de diâmetro, revestidos com manta geotêxtil, com profundidade de 1,30 m e 1,00 m³ de volume, o poço de infiltração possui as laterais internas e externas revestidas com tijolos furados e manta geotêxtil, é dotado de base estruturada com bloco de concreto e, em seu fundo, foi aplicada uma camada de brita nº 3. O dispositivo de entrada do poço possui tampa de metal com grelha, manta geotêxtil, uma camada de areia grossa e uma camada superficial de brita nº 3 (ANGELINI SOBRINHA, 2012).

Figura 33. Sistema de coleta de águas pluviais e poço de infiltração implantado no *Campus* São Carlos, UFSCar. **A.** Esquema do transporte das águas pluviais para o poço de infiltração. **B.** Corte do poço de infiltração. **C.** Superfície do poço de infiltração, vertedor e sistema de monitoramento.



Fonte: **A.** e **B.** Gonçalves (2013). **C.** Original da autora (agosto, 2014).

Em experimento realizado na cidade de Toledo, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Costa, Costa e Poleto (2012) analisaram o desempenho de um protótipo de telhado verde, um sistema também pontual, e o apontaram como eficaz tanto para a redução e o retardo do escoamento superficial como para a redução do volume de águas lançadas no sistema de drenagem urbana, especialmente as coberturas rugosas e vegetadas (Figura 34).

Figura 34. Protótipo de estudo de um telhado verde na UTFPR, em Toledo, PR.



Fonte: Costa, Costa e Poleto (2012).

A adoção do uso associado das técnicas compensatórias aumenta a probabilidade de se alcançar maior nível de qualidade das águas pluviais, bem como de reduzir o volume de escoamento, resultando em maior eficácia nos sistemas de drenagem urbana. Baptista, Nascimento e Barraud (2011) recomendaram um conceito simples e importante de projeto a ser adotado sempre que possível: a desconexão de áreas impermeáveis dos sistemas tradicionais de drenagem. Deve-se conceber o projeto com muita atenção ao conjunto de elementos de LID em composição com as edificações envolvidas e ao cenário urbano e paisagístico. Na Figura 35, é possível observar os dispositivos que cumprem a função de escoamento e infiltração integrados à paisagem. Uma técnica utilizada de maneira isolada não

atenderá aos requisitos de desempenho, ao passo que instalações integradas à rede de drenagem, com diferentes níveis de serviços, proporcionarão patamares superiores de tratamento e redução do volume de escoamento.

Figura 35. Uso associado de dispositivos de LID.



Fonte: Adaptada pela autora com base em University of Arkansas Community Design Center (2010, p. 142–143).

Algumas técnicas compensatórias têm a vantagem de se adaptar a projetos de vários portes e tipos de uso, porquanto seu objetivo não se limita a minimizar o impacto, mas também desenvolver paisagens urbanas regenerativas e produtivas que renovem continuamente o funcionamento do ecossistema. Diferentemente da abordagem convencional, no enfoque LID, diminui-se a concentração dos poluentes do escoamento utilizando uma rede de paisagismo de tratamento distribuída por todo o sítio (UNIVERSITY OF ARKANSAS COMMUNITY DESIGN CENTER, 2010).

3.4 Planos diretores de Instituições Federais de Ensino Superior

Na Europa, as universidades se localizavam normalmente na malha da cidade, incorporando características da cidade. Já nos Estados Unidos, eram implantadas normalmente em grandes terrenos, distantes do ambiente urbano, buscando melhor qualidade de vida. Assim, era possível abranger, além de edifícios administrativos e didáticos, moradias estudantis e de docentes, refeitórios, áreas de esportes e lazer, locais para atendimento à saúde e pequenos serviços, as chamadas cidades universitárias, ou *campi* (GAION, 2014).

Antes da reforma universitária de 1968, as universidades brasileiras se organizavam em faculdades isoladas. Inicialmente, algumas faculdades existentes eram agrupadas para formar a instituição universitária. Posteriormente, sob influência do modelo americano, passaram a se configurar espacialmente em forma de *campi*, buscando maior integração. Os *campi* universitários são organizações complexas por se assemelharem fisicamente a cidades e, administrativamente, a empresas. Portanto, requerem embasamento sólido em termos de programas de gestão e planejamento, pois são instituições dinâmicas que apresentam constantes alterações (ESTEVES; FALCOSKI, 2012; GAION, 2014).

Em 2003, existiam no Brasil 45 universidades federais e todas aderiram ao programa Reuni (BRASIL, 2011). Posteriormente, como demonstrado na Figura 36, foram acrescentadas 14 novas instituições (31,11% a mais), o que resultou em um total de 59 IFES em 2013 (BRASIL, 2012b).

Figura 36. Gráfico da expansão das universidades federais no Brasil de 2003 a 2010.



Fonte: MEC (2010).

Há que se destacar que não apenas a criação de novas universidades mas também a expansão do número de vagas e de cursos naquelas existentes provocaram grande demanda de espaço físico, o que resultou em adensamento sem precedentes. Assim, o programa Reuni foi responsável por crescimento jamais visto na totalidade das IFES, assim como na UFG, em seus diversos *campi* e, em especial, no *Campus* Samambaia.

Invariavelmente, a implantação de um *campus* causa grande impacto na cidade ao gerar influência positiva ou negativa na região onde se instala. Por se tratar de equipamento de alta complexidade, implica intervenções de grande magnitude tanto no ambiente natural quanto no meio urbano. Isso ocorre em virtude de suas dimensões, características físicas e número de usuários. Um fator positivo reside no fato de as universidades promoverem desenvolvimento econômico, político e cultural em escala urbana e regional, estimulando as bases econômicas e morfológicas das cidades (ESTEVES; FALCOSKI, 2012; HENRIQUE, 2012).

Os planos diretores têm o objetivo de garantir o desenvolvimento harmônico de cidades em relação à sua expansão, bem como ao uso e ocupação do solo. Da mesma forma, os planos diretores elaborados para *campi* universitários devem buscar esse desenvolvimento em abordagem sistêmica, com atenção especial para a drenagem urbana, visando garantir a ocupação salubre destes locais pelas pessoas (BRITO; AQUINO; SALES, 2009).

É importante buscar opções dentro do planejamento urbano, de maneira que os planos diretores sejam mais participativos e dinâmicos, não se tornando obsoletos, mas ajustáveis ao processo de expansão e às mudanças que são comuns em espaços universitários. Portanto, devem conter ferramentas norteadoras para o desenvolvimento de novos projetos e previsões de expansões, sempre mantendo estratégias para incluir a questão ambiental (ESTEVES; FALCOSKI, 2012).

Mascaró (2005) mencionou a importância para o planejamento urbano na escolha do sítio, por serem suas características físicas, tais como a topografia, um dos elementos determinantes para a definição do traçado no projeto urbano. No entanto, em universidades públicas, via de regra, essas áreas são adquiridas por meio de doações, sem possibilidade de escolha dos profissionais com base em análise técnica. Nesse caso, o projeto urbanístico do *campus* pode ficar comprometido e não refletir as melhores condições de implantação e definição de seu traçado, requerendo maior atenção ao projeto urbanístico para superar as limitações.

Por ser um equipamento de grande porte inserido na cidade, um *campus* universitário necessita ser um espaço de produção de informações e conhecimentos, devendo qualificar a cidade na qual está inserido desde a sua relação física, se tornando uma extensão desta, melhorando sua qualidade ambiental, social, cultural e tecnológica na estruturação do espaço urbano. Além disso, deve ser um modelo de empreendimento ecologicamente correto, economicamente viável, socialmente justo e culturalmente aceito, isto é, plenamente sustentável (CALDERARI et al., 2013).

Romero, Silva e Pazos (2012) preconizaram que a concepção tradicional do espaço universitário confinado, de acordo com a visão de *campus* como um conjunto de áreas segregadas, instaladas em meio a extensos espaços verdes, criando um espaço isolado e independente do entorno das cidades nas quais estão inseridos, deve ceder lugar a uma concepção alternativa. Essa concepção visa melhorar a percepção de organização do espaço de acordo com um enfoque ambiental, buscando planejamento com integração e valorização dos elementos visuais do lugar. Dentro desse planejamento, é importante buscar opções para que os planos diretores sejam mais participativos e dinâmicos, não se tornando obsoletos, mas sim ajustáveis ao processo de expansão e às mudanças. Desse modo, seus planos devem conter ferramentas norteadoras para o desenvolvimento de novos projetos e previsões de expansões, sempre mantendo estratégias para incluir a questão ambiental (ESTEVES; FALCOSKI, 2012).

Assim como as cidades, as universidades precisam incorporar em seus planos diretores os conceitos de gestão ambiental. Algumas instituições já consolidadas tentam adaptar certos fatores ou sistemas às novas técnicas desejáveis, porém, isto ainda ocorre de modo isolado. É de suma importância desenvolver planos de gestão com diretrizes a curto, médio e longo prazos, para permitir sua aplicação de modo contínuo na busca da qualidade ambiental, ajustável à dinâmica de crescimento dessas instituições. Isso se dá especialmente pelo papel didático das universidades, não apenas em pesquisa e extensão, mas na prática para contribuir na disseminação de medidas sustentáveis envolvendo a comunidade universitária, bem como causando influência em toda a sociedade (ESTEVES; FALCOSKI, 2012).

Calderari et al. (2013) apresentaram a experiência do *Campus* Glória da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) como exemplo positivo de planejamento de *campus* universitário. Para a elaboração de seu plano diretor físico-territorial e do projeto urbanístico, constituiu-se uma equipe técnica multidisciplinar interna formada por professores de diversas áreas, técnicos administrativos e estagiários. Somou-se à equipe um consultor

externo e buscou-se envolver a comunidade nas discussões a respeito do plano como estratégia para propor ações sustentáveis no *campus*. Já no caso da UFSCar, Gaion (2014) identificou pontos positivos na abordagem do planejamento físico em aspectos sustentáveis, por meio de seus principais instrumentos, o Plano de Desenvolvimento Institucional e o Zoneamento Ambiental Urbano (ZAU) de 2013, este último tratando especificamente do planejamento físico.

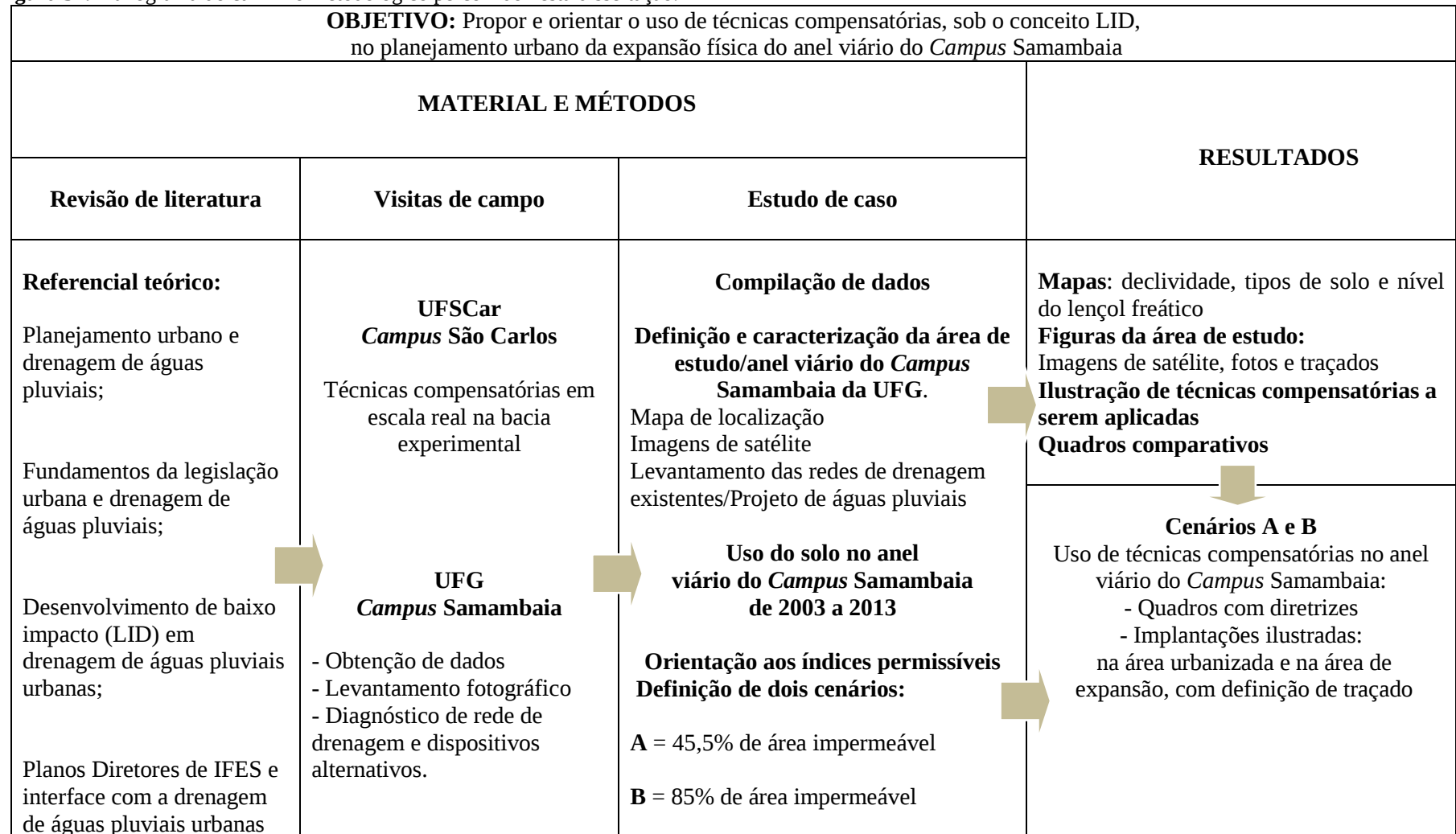
4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho, esquematizada na Figura 37, consistiu de uma revisão de literatura a fim de compor um referencial teórico sobre: planejamento urbano e drenagem de águas pluviais urbanas, fundamentos da legislação urbana e drenagem de águas pluviais, desenvolvimento de baixo impacto (LID) em drenagem de águas pluviais urbanas e planos diretores de IFES e sua interface com a drenagem de águas pluviais urbanas. A fim de respaldar o estudo, a revisão de literatura foi elaborada por meio de pesquisas em livros, teses, dissertações, manuais, guias e artigos científicos publicados em periódicos e acessos na Internet aos *sites* das IFES, agências ambientais e outros relacionados.

Ao longo da revisão de literatura, foram estudados a abordagem atual sobre planejamento urbano, o traçado, sua configuração e morfologia, procurando identificar as relações existentes entre o sítio, seus condicionantes e a adoção do traçado urbano. Em busca de compreender sua interface com a drenagem urbana, foram verificados os tipos de traçados utilizados, estudando-se os critérios mais relevantes indicados para urbanizações, ou seja, as variáveis funcionais, formais e econômicas. Também foi pesquisado o conceito de desenvolvimento de baixo impacto em drenagem de águas pluviais e sua relação com o planejamento urbano. Dentro do conceito LID, foram verificados os tipos de técnicas compensatórias em drenagem urbana, sua conceituação, características e utilização, bem como sua possibilidade de inserção em ambiente urbano, mediante critérios de restrições em menor ou maior grau de importância. Para sua utilização de modo mais eficiente que a de dispositivos isolados, buscou-se compreender a maneira da associação de técnicas compensatórias em ambiente urbano, com o objetivo de restaurar as funções hidrológicas originais da pré-urbanização na redução do escoamento superficial. Por meio de visita de campo ao *Campus* São Carlos, da UFSCar, onde técnicas compensatórias foram implantadas em escala real, confirmou-se a viabilidade de seu uso.

O critério para a seleção das IFES que comporiam a pesquisa foi baseado na disponibilidade dos dados necessários ao seu desenvolvimento. Muitos *sites* de IFES apresentam seu escritório técnico, prefeituras universitárias, centro de gestão do espaço físico, e diversos órgãos que fazem a gestão e o planejamento dos espaços urbanos. Ao acessar o órgão em busca dos dados, muitas vezes essas informações não estavam disponíveis, não faziam parte de um banco de dados ou simplesmente não existiam.

Figura 37. Fluxograma do caminho metodológico percorrido nesta dissertação.



Fonte: Original da autora.

Por meio dos *sites* das IFES, os planos diretores disponíveis foram pesquisados para elucidar a abordagem adotada no planejamento urbano em relação à drenagem de águas pluviais, obtendo-se, ainda, os respectivos traçados. Esta investigação, após a compilação e o processamento dos dados, resultou em plantas do traçado, mapas de declividade e descrição das ações e diretrizes dos planos diretores em interface com a drenagem urbana para cada instituição abordada.

A partir de pesquisa documental, elencou-se o aparato legal que norteia a relação entre planejamento urbano e drenagem, com o intuito de correlacionar as leis existentes nas esferas federal, municipal e em escala de bairro. As diversas leis apresentam orientações em relação à ocupação e ao uso da terra, definindo parâmetros urbanísticos importantes na relação entre o planejamento urbano e a drenagem pluvial de águas urbanas, bem como orientações para o saneamento no Brasil, entre outras. Em adição a isso, foram observados seus fundamentos e aplicabilidade ao planejamento urbano atual, com vistas à drenagem urbana em enfoque sustentável.

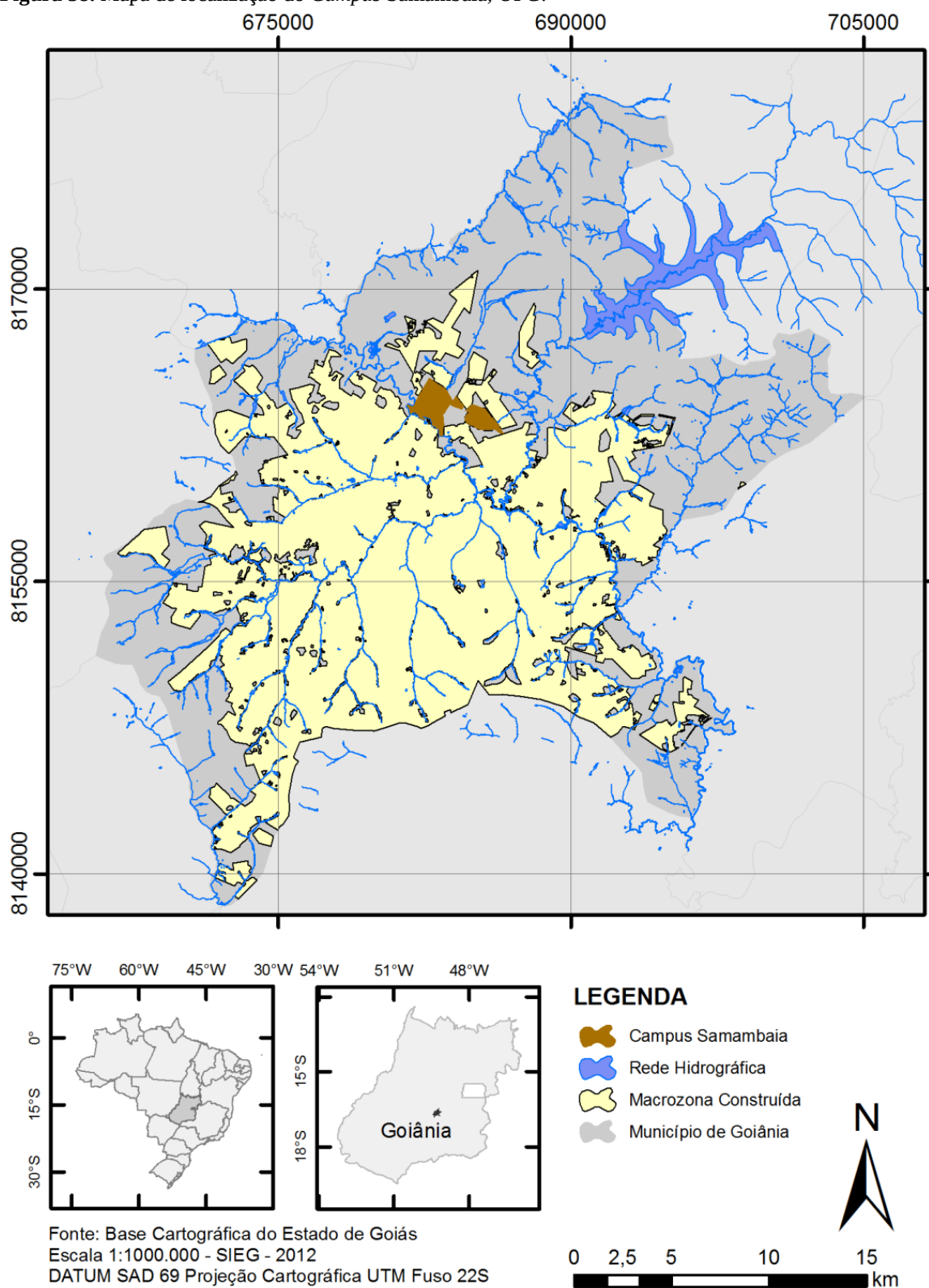
Mediante o uso de geoprocessamento por interpretação visual, diagnosticou-se a evolução do uso do solo no anel viário do *Campus Samambaia* de 2003 a 2013, com imagens de satélites e arquivos gerados no *software AutoCAD* versão 2012, processados no *software ArcGIS* 10.1, sobrepondo-se imagens e traçados e confirmando-se o adensamento ocorrido.

Com vistas à proposição de diretrizes para o uso de técnicas compensatórias, dentro do conceito LID, foram elaborados quadros acerca de implantações com orientações de aplicação dos dispositivos, tanto na situação atual, no cenário A, com 45,5% de área impermeável, quanto no cenário B, com 85%, que é o limite estabelecido pelo Plano Diretor de Goiânia (GOIÂNIA, 2007).

4.1 Caracterização e delimitação da área de estudo

A área de estudo está localizada no *Campus Samambaia*, da UFG, ao norte do município de Goiânia, na rodovia GO-080, a 12 km do centro da cidade. Possui área de 4.662.400,00 m² em ambiente cercado por matas nativas, conforme mostram as Figuras 38 e 39.

Figura 38. Mapa de localização do *Campus Samambaia*, UFG.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 39. Edifício executado em 2012 e mata nativa preservada (APP) no *Campus Samambaia*, UFG.



Fonte: Original da autora (agosto, 2013).

Para este trabalho, delimitou-se o anel viário do *Campus Samambaia* pelo fato de ser a região onde se concentrou o maior número de edifícios advindos da expansão do Reuni entre os *campi* da UFG. O recorte da área de estudo para onde serão estabelecidas as diretrizes compreende a área de expansão do anel viário e está destacado na Figura 40.

Figura 40. Imagem de satélite com a delimitação da área de estudo, a expansão do anel viário, no *Campus Samambaia*, UFG.



Fonte: Adaptada pela autora com base em ortofoto de Goiânia MUBDG (2011), Prefeitura de Goiânia.

Em visitas realizadas na área definida como objeto de estudo, de posse de dois arquivos digitais de levantamento planialtimétrico obtidos no CEGEF, o primeiro de 2005 e o último de 2013, foi possível conferir seu traçado com as variações ocorridas. Para melhor caracterização do *Campus* Samambaia, com o uso das curvas de nível georreferenciadas obtidas em levantamento topográfico realizado em 2013, a fim de identificar a declividade do terreno, foi elaborado um mapa de declividade utilizando o *software ArcGIS* 10.1 no modo *Spatial Analyst*. As classes de declividade adotadas como referência nesta dissertação seguem o padrão da EMBRAPA (1979), que estabeleceu a seguinte classificação de relevo: plano, com expressiva ocorrência de áreas com declives de 0% a 3%; suave ondulado, com declives de 3% a 8%; ondulado, com declives de 8% a 20%; forte ondulado, com declives de 20% a 45%; montanhoso, com declives de 45% a 75%; e escarpado, com declives > 75%. A projeção utilizada nos mapas é Universal Transversa de Mercator (UTM), hemisfério sul, fuso 22, tendo como referencial geodésico WGS84. Como fonte de dados foram utilizadas imagens de satélite obtidas no *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), geradas pelo projeto Topodata, além de dados de laudos de sondagens obtidos no CEGEF. As sondagens foram realizadas por empresas terceirizadas para subsidiar projetos de fundação das obras ali localizadas. Com a utilização do *software ArcGIS* 10.1, elaborou-se um mapa de localização hidrográfica para possibilitar a compreensão acerca da localização do *Campus* Samambaia dentro da bacia hidrográfica na qual está inserido, além das interferências que sofre e promove.

Por último, de posse dos laudos das sondagens realizadas para as obras na região do anel viário, foi elaborado um mapa com a caracterização do solo para cada furo das sondagens realizadas, encontrado à profundidade de 3,00 m, bem como um mapa que indica o nível do lençol freático também em cada furo, pela interpolação dos valores das profundidades encontradas. Todos esses procedimentos, interpolação e geração dos mapas foram realizados por meio do *software ArcGIS* 10.1. Esse limite da profundidade foi determinado em função da profundidade máxima admissível pelo Plano Diretor de Goiânia para poços de infiltração, que é de 2,60 m (GOIÂNIA, 2007). Assim, obteve-se a camada mais próxima do solo a ser utilizada. Com os dados dos relatórios de sondagem ainda foi possível obter um panorama do tipo de solo existente no recorte da área de estudo, a fim de confirmar a possibilidade de utilização de elementos ou dispositivos de infiltração, em abordagem de desenvolvimento de baixo impacto, bem como a existência de limitação na implantação de dispositivos como poços de infiltração.

Ainda de posse do projeto de águas pluviais existente, obtido no CEGEF, elaborado para o *Campus* Samambaia, foi realizada visita ao local do objeto de estudo. Durante a visita, foi possível verificar a rede existente que não constava no projeto, a rede recém-executada (2011) e sua compatibilidade com o projeto. Além disso, constatou-se a existência no projeto de dispositivos de mitigação do escoamento superficial, como poços de infiltração e bacias de retenção. Foram diagnosticadas incompatibilidades entre o que foi projetado e o que foi executado, como será visto nos resultados.

4.2 Planejamento urbano e desenvolvimento de baixo impacto em drenagem de águas pluviais urbanas

Visando uma abordagem integrada do planejamento da drenagem urbana, foram realizadas revisão de literatura e pesquisa documental em guias, manuais técnicos de diversos países, livros, artigos científicos e projetos de dispositivos. Com esse embasamento da literatura, buscou-se a proposição de adoção de técnicas compensatórias com base no conceito de desenvolvimento de baixo impacto no planejamento urbano do *Campus* Samambaia. O objetivo foi a mitigação de problemas oriundos de alagamentos, ou da sobrecarga da rede de drenagem convencional, melhorando aspectos naturais, como infiltração no terreno e retardamento do escoamento superficial, além de ganhos paisagísticos. Para atingir esse objetivo, com base nas recomendações do LID, foi necessário minimizar o escoamento superficial o mais próximo de sua origem, com redução de áreas impermeáveis e adoção de medidas pontuais, ou lineares, de pequeno porte, que possam contribuir com a gestão das águas pluviais no *Campus* Samambaia e demais *campi* universitários de IFES.

Ao final, com base na revisão de literatura atualizada, utilizando o método comparativo, foi feita a correlação entre os planos diretores de várias IFES em interface com a drenagem urbana. Foi observado que nem todas as IFES têm em seu plano diretor a visão da abordagem LID como orientação ao planejamento urbano em interface com a drenagem das águas pluviais. Algumas IFES, no entanto, apresentam plano diretor com inserção do conceito LID desde a definição do traçado até a integração de técnicas compensatórias ao paisagismo e edificações, como nos casos da UFU e da Universidade de Brasília (UnB) em seus *campi* Glória, Gama, Planaltina e Ceilândia, além da expansão do *Campus* Darcy Ribeiro.

Feito o reconhecimento do atendimento à legislação específica com foco em uma abordagem atual e integrada à drenagem dentro do planejamento urbano, foi elaborada uma implantação urbanística, orientando o atendimento às recomendações do LID para a adoção do traçado urbano na expansão do *Campus* Samambaia. Além do traçado, foi prevista, na mesma implantação urbanística, a aplicação de técnicas compensatórias de drenagem urbana dentro do conceito LID de forma associada, de modo a orientar sua utilização integrada ao planejamento urbano. A abordagem integrada de dispositivos de desenvolvimento de baixo impacto pode ser adotada no planejamento urbano de outros *campi* utilizando-se este método, desde que sejam observados os ajustes às características específicas do sítio e ao contexto de cada instituição.

A fim de identificar situações semelhantes em *campus* foi realizada uma pesquisa documental em consulta ao *site* do Ministério da Educação (MEC), no qual se buscou a listagem das IFES que aderiram ao programa Reuni. A partir dessa lista, foi iniciada a busca por dados referentes aos planos diretores de *campi* universitários e seus traçados urbanos, disponíveis para consulta nos *sites* das IFES, em artigos e livros. O período analisado dos investimentos do Reuni foi de 2008 a 2013.

4.3 Compilação e tratamento de dados das Instituições Federais de Ensino Superior

Ao realizar a pesquisa documental, em consulta ao *site* do MEC, buscou-se a listagem das IFES que aderiram ao programa Reuni,. A partir dessa lista, foi iniciada a busca por dados referentes aos planos diretores de *campi* universitários e seus traçados urbanos, disponíveis para consulta nos *sites* das IFES, em artigos e livros. O período analisado dos investimentos do Reuni foi de 2008 a 2013.

Os arquivos coletados nem sempre apresentavam as informações completas a respeito das características do terreno, necessárias à análise do traçado urbano e sua relação com a drenagem. Exemplo disso foi a ausência geral de levantamentos planialtimétricos georreferenciados dos terrenos. Diante dessa situação, foram pesquisadas imagens de satélite geradas pelo projeto Topodata do INPE para a elaboração de mapas de declividade, posteriormente sobrepostos aos traçados obtidos e tratados, para elucidar as características topográficas do sítio de cada IFES.

Ao longo da pesquisa documental, procurou-se identificar dados, projetos e normativas sobre planos diretores e uso do solo, observando-se possíveis aplicações do LID nas IFES pesquisadas. Pelo fato de existirem diversas pesquisas sobre planejamento urbano ambiental e recursos hídricos desenvolvidas nas universidades federais, ocorre uma inquietação e necessidade de implementação dos dados obtidos nos estudos realizados em seus próprios *campi*, levando a ações direcionadas para planos diretores com vistas à sustentabilidade.

A fim de apresentar a síntese do traçado, foram abertos os arquivos de projetos urbanísticos obtidos em extensões pdf ou dwg para sua vetorização com o uso do *software Adobe Illustrator*, obtendo-se plantas do traçado com indicações da rede viária e das áreas de estacionamento. Desse modo, foi possível proceder à análise e obter fundamentos para embasar a discussão dos resultados para cada IFES. Para melhor ilustrar a forma como o espaço se desenvolveu, são apresentados a planta síntese do traçado urbano, o mapa de declividade do terreno onde o *campus* está implantado e a foto aérea, ou imagem de satélite ou ainda a maquete eletrônica.

4.4 Uso do solo no anel viário do *Campus Samambaia* entre 2003 e 2013

No estudo do uso do solo no anel viário do *Campus Samambaia*, pretendeu-se analisar as alterações no período de maior efervescência da aplicação do programa Reuni, compreendido entre 2003 e 2013. Por meio do entendimento de como se deu esse adensamento na UFG, pretendeu-se melhor estruturar a composição de critérios técnicos e metodológicos para orientar o planejamento urbano na instituição estudada, reconhecendo essa expansão como resultado, principalmente, do programa Reuni. Assim, foi realizada a interpretação visual de imagens de satélite em sobreposição aos *shapes* dos traçados nas datas indicadas, mediante o uso de geoprocessamento. Para tanto, foram utilizadas quatro imagens do *Campus Samambaia* obtidas no *software Google Earth*, sendo uma de 2003, portanto, em período antecedente à implantação do Reuni, duas que representam o processo de ocupação e uso do solo, de 2006 e 2009, e uma de 2013, para a interpretação da ocupação deste *campus* dentro do período completo deste estudo.

Antes de efetuar o *download* das imagens do *Campus Samambaia*, foram inseridos quatro pontos com marcadores e suas respectivas coordenadas geográficas em

UTM. Posteriormente, esses marcadores foram salvos em extensão kmz e abertos no *software Global Mapper*, para serem transformados em *shapefile* como ponto, utilizando-se a ferramenta *Export Format Vector*. No *software ArcGIS 10.1*, abriu-se o *shapefile* de pontos e inseriu-se o arquivo *raster* (imagem *landsat*) para o georreferenciamento.

De posse de uma planta urbanística em arquivo digital, elaborada em 2005, e de um levantamento planialtimétrico de 2013, ambos gerados no *software AutoCAD* versão 2012 e obtidos no CEGEF, foi possível proceder à interpretação e análise dos dados. É importante ressaltar que o arquivo do levantamento planialtimétrico de 2013 foi realizado com equipamentos de geoprocessamento de alta resolução e apresentavam suas coordenadas geográficas, sendo um levantamento georreferenciado. Os dois arquivos foram salvos da extensão dwg para extensão dxf, possibilitando seu processamento no *software AutoCAD MAP* versão 2004. Com a ferramenta *Ruber Sheet*, foi possível exportá-los como *shapefiles*.

Por meio do *software ArcGIS 10.1*, sobrepondo o *shapefile* do traçado urbano de 2005 à imagem de 2006, procedeu-se à interpretação do espaço urbano do *Campus Samambaia* em período anterior ao adensamento ocasionado pelo Reuni. Por meio de interpretação visual da imagem de 2009, verificou-se a ocorrência de mudança no ritmo do processo de adensamento urbano, uma vez que em 2005 e 2006 havia certa estagnação no *Campus Samambaia* em relação à expansão de seus edifícios. Por último, sobrepondo o *shapefile* do traçado de 2013 à imagem do mesmo ano, interpretou-se visualmente o resultado da evolução do uso e ocupação do solo do *Campus Samambaia* no período compreendido entre 2003 e 2013.

Além da interpretação visual utilizando-se o arquivo de levantamento atualizado do anel viário, de 2013, todas as áreas impermeáveis foram calculadas. Com o uso do *software AutoCAD* versão 2012, abriu-se o arquivo do levantamento, tornando possível calcular individualmente a área de calçadas de pedestres, passarelas cobertas, quadras esportivas, piscina, estacionamentos e sistema viário, bem como a projeção de cada edificação existente. Ressalta-se que os bosques foram retirados deste cálculo, uma vez que são áreas de preservação e, portanto, não fazem parte da área de ocupação por edificações ou calçadas, embora sejam áreas impermeáveis.

4.5 Procedimentos para elaboração de diretrizes para uso de dispositivo de LID na área do estudo de caso

Finalmente, procedeu-se ao estudo de caso, que pressupõe a elaboração de proposta de uso de técnicas compensatórias estruturais e não estruturais, observando-se a abordagem integrada ao planejamento urbano, com base em todo o estudo realizado. A previsão do uso de LID é recomendada inicialmente, no momento da adoção do traçado para a expansão do anel viário do *Campus* Samambaia, buscando a detenção e a redução do escoamento superficial, mediante o uso de dispositivos, com soluções dos tipos bacias ou reservatórios de detenção e soluções na fonte geradora do escoamento, como pavimentos permeáveis, trincheiras, poços de infiltração, valas e biovaletas, entre outros.

Para a proposição dos dispositivos e de medidas compensatórias, foram definidos dois cenários. Para o primeiro, considerou-se 45,5% de área impermeável, que corresponde ao cenário encontrado em 2013, enquanto para o segundo considerou-se a ocupação máxima prevista no Plano Diretor de Goiânia, com 85% de área impermeável, prevendo-se 15% de área vegetada, ou compensada por poços de infiltração em 10% e trechos gramados de, no mínimo, 5% (GOIÂNIA, 2007). Conforme orienta a Lei Complementar nº 246 (GOIÂNIA, 2013a), em Goiânia, para qualquer tipo de uso de edificação, tornou-se obrigatório o atendimento de complementação de área impermeável por meio de poços de infiltração. Assim, por força de lei, é uma recomendação determinante na instrução de adoção de dispositivos LID para o *Campus* Samambaia. Ao final deste trabalho, são apresentadas duas implantações ilustradas, com orientações sobre a aplicação de dispositivos associados ao traçado e planejamento urbano da expansão do anel viário do *Campus* Samambaia nos dois cenários definidos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De posse dos dados necessários à fundamentação deste trabalho, após sua compilação e tratamento, apresentam-se, a seguir, os resultados, analisados à luz da metodologia descrita anteriormente, e a discussão a respeito do tema proposto.

5.1 Instituições Federais de Ensino Superior: planos diretores, traçado, declividade e interface com a drenagem urbana

A pesquisa documental realizada no *site* do MEC mostrou que a totalidade das universidades aderiu ao Reuni, ou seja, 45 IFES faziam parte do programa. Foram encontrados 14 *campi*, de 11 IFES com disponibilidade de acesso virtual a seus órgãos de planejamento e prefeituras universitárias, responsáveis pelo planejamento e gestão do espaço físico, bem como artigos e livros referentes ao planejamento de *campi* universitários. Os arquivos com os traçados urbanos dessas universidades foram obtidos em extensões pdf, jpeg ou dwg, possibilitando a verificação da existência de interface entre planos diretores e drenagem urbana em IFES, de modo a compreender se estas instituições adotam a abordagem clássica ou alternativa associada ao sistema de drenagem para nortear a adoção do traçado urbano. Com o levantamento realizado, foi possível identificar que esses 14 *campi* disponibilizam arquivos com seu traçado e, entre estes, apenas oito apresentam planos diretores. Todas as IFES investigadas que têm disponíveis traçados e planos diretores para os *campi* compõem o Quadro 8.

É pertinente afirmar que os planos diretores das IFES, em sua maioria, se destacam no contexto das instituições pesquisadas ao abordar aspectos relevantes do planejamento urbano ambiental, revelando a atenção dos gestores das IFES em relação a questões nem sempre desenvolvidas nas políticas públicas em nível municipal pelos gestores das cidades brasileiras.

Destaca-se que os planos diretores mais atuais e revisados recentemente há cerca de, no máximo, dez anos, apresentam, com maior detalhamento, ações e diretrizes com foco nas questões ambientais, enquanto aqueles elaborados há mais tempo não as contemplam,

limitando-se apenas aos índices urbanísticos relacionados à área mínima permeável e à limitação do percentual de ocupação do solo.

Quadro 8. Listagem das IFES que disponibilizam traçados e planos diretores.

Nome da instituição	Sigla	Nome do <i>campus</i>
Instituições que disponibilizam traçados dos <i>campi</i>		
Universidade de Brasília	UnB	Ceilândia
		Darcy Ribeiro
		Gama
		Planaltina
Universidade Federal de Goiás	UFG	Aparecida de Goiânia
Universidade Federal de Minas Gerais	UFMG	Pampulha
Universidade Federal de Santa Catarina	UFSC	UFSC
Universidade Federal de Santa Maria	UFSM	Santa Maria
Universidade Federal de São Carlos	UFSCar	São Carlos
Universidade Federal de Uberlândia	UFU	Glória
Universidade Federal de Viçosa	UFV	Viçosa
Universidade Federal do Rio de Janeiro	UFRJ	da Ilha do Fundão
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	UFRGS	do Vale
Universidade Federal do Tocantins	UFT	Tocantins
Instituições que apresentam plano diretor físico		
Universidade de Brasília	UnB	Darcy Ribeiro
		Ceilândia
		Gama
		Planaltina
Universidade Federal de Minas Gerais	UFMG	Pampulha
Universidade Federal de Santa Catarina	UFSC	UFSC
Universidade Federal de Uberlândia	UFU	Glória
Universidade Federal de Viçosa	UFV	Viçosa

Fonte: Original da autora.

Na UFRJ, o plano diretor, elaborado em 2009, é muito bem detalhado e aponta o desenvolvimento para até 2020, abordando aspectos abrangentes voltados para a sustentabilidade e os aspectos urbanísticos e relacionados às edificações com usos diversos. Para a UnB, a publicação de Romero, Silva e Pazos (2012) apresenta todo o processo realizado no desenvolvimento do plano diretor de três novos *campi* e na expansão do *campus* base Darcy Ribeiro, elaborados em 2006 (expansão sul *campus* Darcy Ribeiro), 2009 (*campus* Gama) e 2011 (*campi* Ceilândia e Planaltina).

No *campus* Glória da UFU, o plano diretor elaborado em 2011 apresenta maior detalhamento relacionado à infraestrutura verde, levando em consideração a drenagem urbana de modo integrado ao planejamento. Também visa inter-relacionar os sistemas de saneamento ambiental ao planejamento urbano e valorizar o paisagismo do local, especialmente em termos de preservação da vegetação nativa, com vistas a um *campus* sustentável.

Por meio de pesquisa documental realizada nos planos diretores das IFES, foi possível identificar parâmetros urbanísticos definidos para nove dos 14 *campi* avaliados. Os dados processados são apresentados no Quadro 9, no qual esses parâmetros são comparados no que se refere à área permeável mínima e à ocupação máxima.

Quadro 9. Comparação entre parâmetros urbanísticos de planos diretores das IFES.

IFES	<i>Campus</i>	Parâmetro urbanístico		
		Área permeável mínima (%)	Ocupação máxima (%)	Índice de ocupação
UnB	Ceilândia	30	50	—
	Darcy Ribeiro	30	50	—
	Gama	30	50	—
	Planaltina	30	Previsão de 10,64 ¹	—
UFMG	Pampulha	40	—	1
UFSC		—	—	—
UFU	Glória	40	30	—
UFV	Viçosa	20	60	—
UFRJ	Ilha do Fundão	Demolição de prédios com baixos índices de utilização (área construída pequena em relação à área ocupada), de baixa qualidade arquitetônica e precária funcionalidade, possibilitando construções de edifícios com uso mais intenso e qualificado (melhor aproveitamento do espaço ocupado no terreno).		

¹ O plano diretor define o limite de ocupação de 50%. Porém, a previsão é que não se ultrapasse 10,64%.

Fonte: Elaborado pela autora com base nos planos diretores das instituições pesquisadas.

Além dos parâmetros urbanísticos, a leitura dos planos diretores permitiu a identificação de ações e diretrizes em interface com a drenagem urbana. Constatou-se que os planos elaborados recentemente ou atualizados apresentam maior grau de detalhamento acerca das questões de infraestrutura e maior atenção à preservação do ambiente natural (Quadro 10).

Algumas ações específicas de tratamento da drenagem foram encontradas em planos elaborados entre 2003 e 2013, evidenciando a adoção de uma abordagem alternativa, em que as diretrizes se baseiam no desenvolvimento de baixo impacto. Exemplo disso são os planos da UFU para o *Campus* Glória e os três novos *campi* da UnB, Ceilândia, Gama e Planaltina, que enfocam a infraestrutura verde, abordagem que segue a mesma linha do LID ao lançar mão de técnicas compensatórias e medidas mitigadoras para a preservação do ambiente natural original.

Foi possível observar que nos planos diretores dos quatro *campi* da UnB houve preocupação com a qualidade ambiental dos espaços por eles concebidos. Ações de gestão que contribuem para alcançar essa qualidade puderam ser confirmadas na atenção ao traçado urbano em consonância com a topografia, na preservação da vegetação nativa e de outros elementos naturais, como o campo de murundus², além do tratamento de fundo de vale.

Em uma visão mais atualizada acerca das questões ambientais, os planos dos *campi* Ceilândia, Gama e Planaltina trouxeram uma concepção alternativa à convencional, que confinava os espaços universitários, buscando-se, ao contrário, integrá-los à cidade na qual estão inseridos. Espaços sem especialidades e setorizações rigidamente definidas compõem esses *campi*. Nessa perspectiva atual, os planos diretores apresentaram projetos urbanísticos dotados de componente arquitetônico, integrados na formação da cidade e deixando de lado o urbanismo desconectado da arquitetura, considerado abstrato.

Para possibilitar uma análise dos *campi* das IFES brasileiras dentro desta amostragem, foram elaboradas plantas do traçado dos *campi* universitários e seus respectivos mapas de declividade nas diversas regiões do país onde estão implantados. A partir da análise dos mapas, foram constatadas algumas similaridades entre eles, como a presença quase constante do anel viário e o traçado em malha ortogonal do tipo grelha internamente no desenvolvimento das quadras.

² Os murundus são pequenas porções de terras mais elevadas, ovais ou circulares, com espécies vegetais típicas de Cerrado (BORDIGNON et al., 2007).

Quadro 10. Ações e diretrizes de planos diretores de IFES em interface com a drenagem urbana.

IFES	Campus	Ações e diretrizes previstas nos planos diretores das IFES em interface com a drenagem urbana
UnB	Ceilândia	▪ Traçado irregular seguindo as curvas de nível; pouca alteração na topografia; calçadas com biovaletas e reuso da água para irrigação; estacionamento com piso permeável; uso de paisagismo produtivo.
	Darcy Ribeiro	▪ Princípios: implantação de sistema de drenagem natural incorporado ao desenho urbano; técnicas de infraestrutura verde, com pequenas praças tratadas bioclimaticamente ao longo de canais de infiltração; ocupação de edifícios respeitando topografia e linhas de drenagem; gestão ecológica do ciclo da água; bosque como elemento norteador da estrutura urbana proposta.
	Gama	▪ Plano de drenagem, observando: permeabilidade, pavimento permeável nos estacionamentos e vias, biovaletas conectadas aos sistemas de calçadas e de canteiros pluviais e jardins de chuva.
	Planaltina	▪ Utilização de quarteirões com faixas verdes com 10 m ou mais de largura, a depender da dimensão do edifício a ser construído.
UFMG	Pampulha	▪ Previsão de zona <i>non aedificandi</i> , ou seja, áreas destinadas à preservação de ecossistemas naturais.
UFSC	UFSC	▪ Parques lineares ao longo dos canais, manutenção de áreas com árvores.
UFU	Glória	▪ Plano de drenagem pluvial como prioridade; infraestrutura verde; proteção de ambientes naturais; sistema de captação e retenção/contenção de águas pluviais naturais; drenagem natural com o uso de pisos aerados; criação de corredor ecológico, em escala macro; plantio de espécies nativas do Cerrado; implantação de programa de educação ambiental; ▪ Utilização de tecnologias de filtração visando a reutilização dos recursos hídricos; implantação de sistema de drenagem de águas pluviais com redes próprias, ecocalhas e lagoas de contenção para reuso; monitoramento pluviométrico; implantação de lagoas de contenção multifuncionais; uso de telhados verdes nas edificações; estacionamentos verdes com pisos e vegetação.
UFV	Viçosa	▪ Cadastramento de redes de água, esgoto e drenagem, mantendo os cadastros atualizados; ▪ Levantamento de rede de drenagem e verificação da capacidade de atendimento das vazões provenientes das respectivas sub-bacias; ▪ Elaboração de projeto de drenagem, incluindo a expansão prevista.
UFRJ	da Ilha do Fundão	▪ Dragagem e recuperação dos canais do Cunha e do Fundão; reabertura, onde possível, dos canais que separavam as ilhas originais que deram origem à ilha da Cidade Universitária, de modo a favorecer a circulação e a qualidade das águas; ▪ Uso econômico e reciclagem da água; levantamento completo da posição da rede e seus elementos; desobstrução de caixas de acesso e trechos de tubulação operacional; diagnóstico detalhado da situação da rede com o emprego de técnicas invasivas, como sondas com imagem; reconstituição dos trechos destruídos, reforma ou reforço dos trechos em risco, redimensionamento dos trechos com geometria, ocupação ou topografia modificados; projeto de drenagem urbana privilegiando soluções inovadoras dentro da UFRJ.

Fonte: Elaborado pela autora com base nos planos diretores das IFES.

Outra característica observada nos diversos *campi* foi a inexistência de divisões em lotes, havendo somente a divisão do traçado em quadras, nas quais os edifícios são ordenados, comumente, por afinidade, isto é, setorizados por áreas do conhecimento. Os planos diretores da UnB quebraram este paradigma quando evitaram a setorização visando maior integração no próprio *campus* e em relação à cidade na qual se localizam.

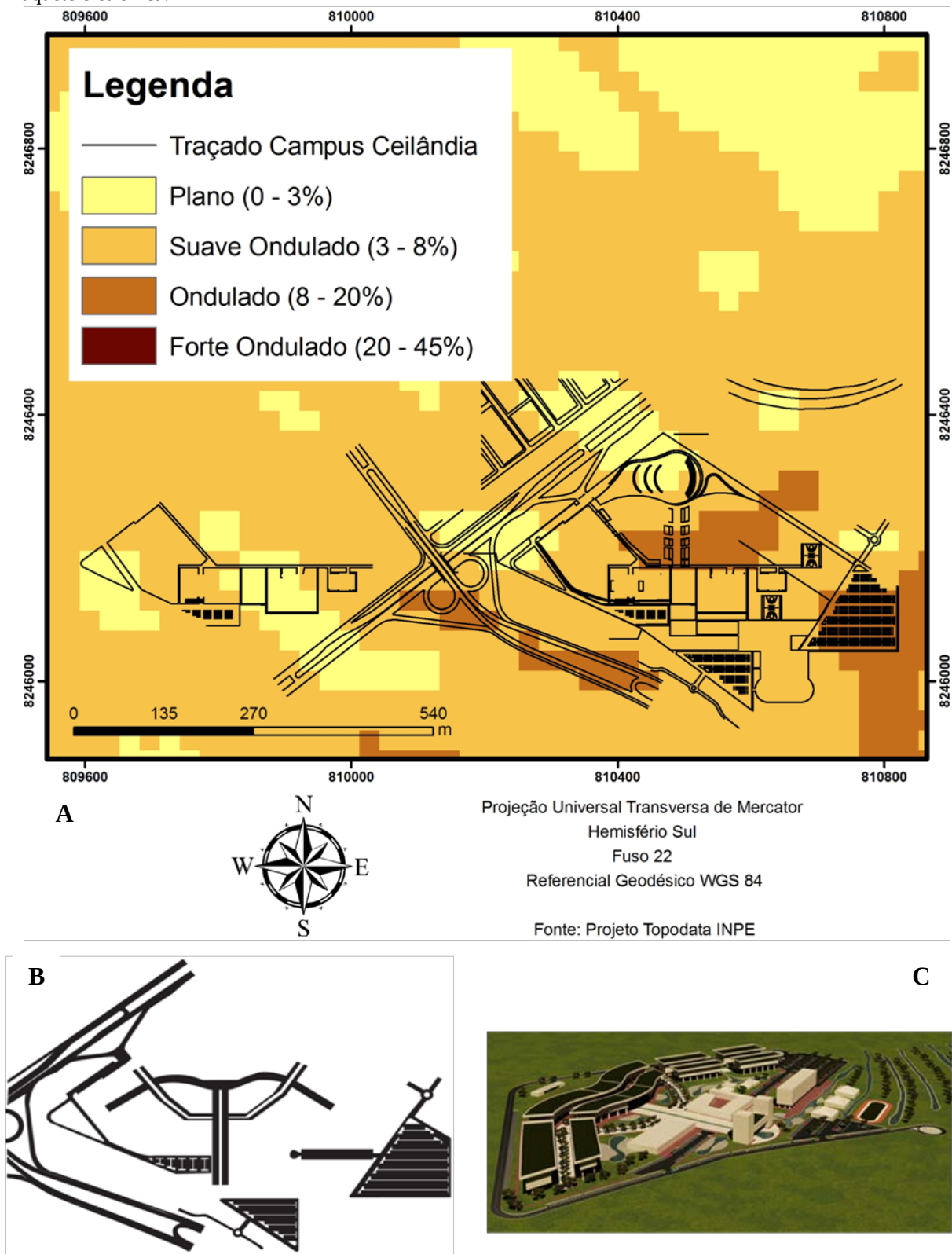
A seguir, são apresentados os mapas de declividade e as plantas dos traçados dos 14 *campi* estudados. Foram pesquisadas a existência de fotografias aéreas ou imagens de satélites dos *campi* implantados e a disponibilidade de maquetes eletrônicas daqueles que ainda não estão consolidados.

No caso do *Campus Ceilândia*, da UnB, o traçado adotado tem formato híbrido, no qual se percebem certos trechos curvilíneos e outros retilíneos, não chegando a se configurar como grelha ortogonal, mas buscando flexibilidade, porém com ordenação de algumas vias paralelas. Fica evidente a observância do assentamento das vias às curvas de nível, minimizando cortes e aterros, preservando a vegetação nativa e a implantação dos edifícios realizada de modo integrado ao projeto urbanístico (Figura 41).

O *Campus Darcy Ribeiro*, da UnB, cujo projeto original do arquiteto Lúcio Costa data de 1962, passou por expansão física aproveitando elementos urbanos existentes. Nessa expansão, no plano diretor levou-se em consideração parte do sistema viário existente no entorno do *campus*, complementando-se algumas vias internas com a implantação de novas vias e a ampliação de espaços para estacionamento (Figura 42). O terreno apresenta declividade variando de 0% a 20%, que corresponde a relevo plano a ondulado (EMBRAPA, 1979). Assim sendo, necessitou maior atenção no planejamento e traçado para não gerar grandes movimentos de terra, o que foi muito bem observado em sua configuração.

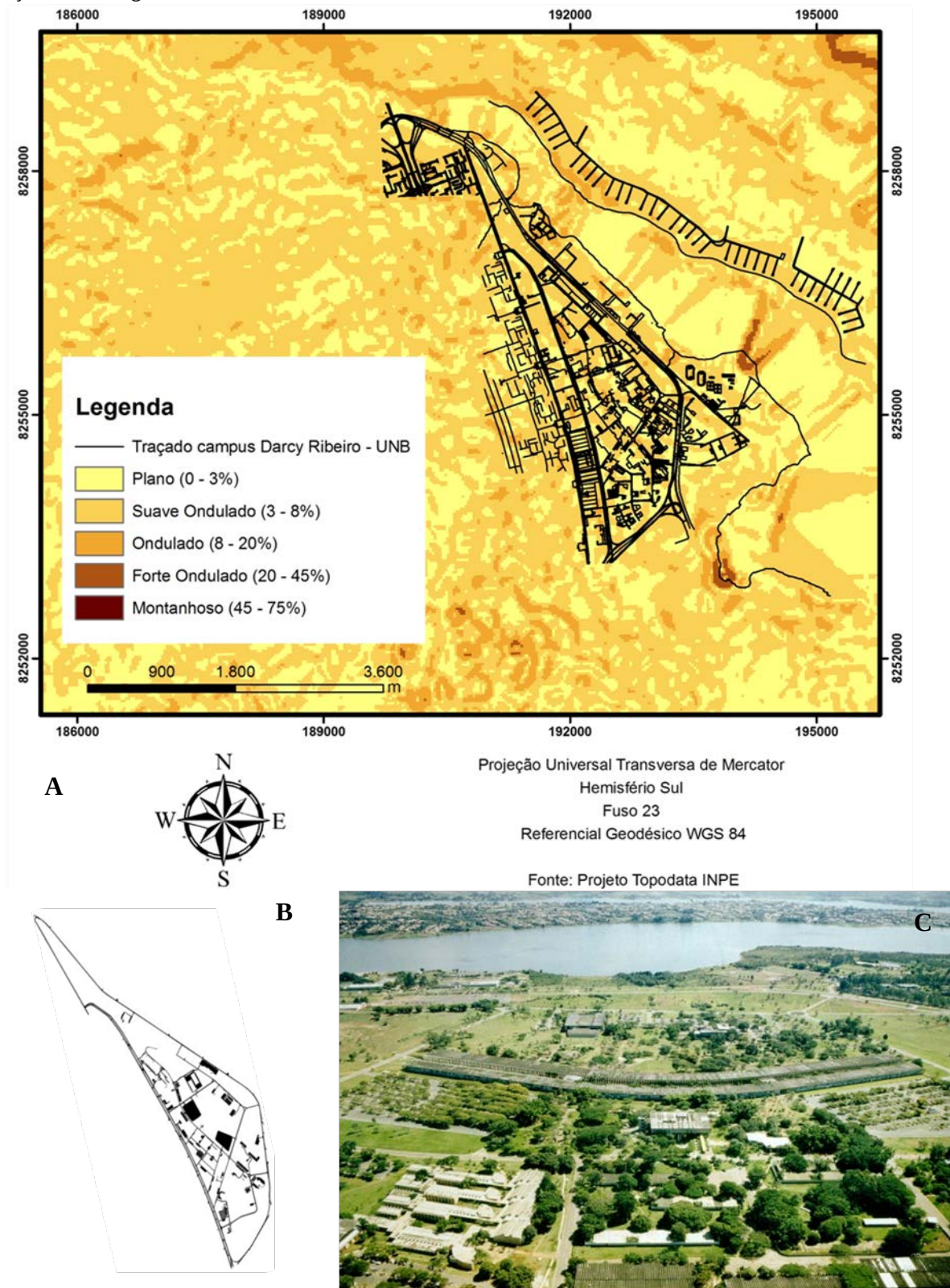
No *Campus Gama*, da UnB, o traçado adotado tem forma trapezoidal, ocupando um terreno que possui relevo predominantemente suave ondulado, com expressiva ocorrência de áreas apresentando declividade variando de 3% a 8% (EMBRAPA, 1979), o que não traz restrições a este tipo de traçado. O plano diretor foi totalmente elaborado dentro do conceito de infraestrutura verde e, portanto, estão previstas biovaletas, jardins de chuva, lagoas de infiltração e canteiros pluviais nos espaços abertos, integrando as edificações com os passeios e o paisagismo produtivo, deixando visível o ciclo da água. Esse conceito valorizou o pedestre e deixou as vias e os estacionamento para veículos na periferia do *campus*. Somente passeios entrecortam o seu interior, interligando os edifícios e integrando-os aos espaços abertos. Assim, denota a precisão em incluir no planejamento urbano questões de infraestrutura em abordagem alternativa, levando em consideração a qualidade do meio ambiente (Figura 43).

Figura 41. Representação gráfica do *Campus Ceilândia*, UnB. **A.** Mapa de declividade. **B.** Planta do traçado. **C.** Maquete eletrônica.



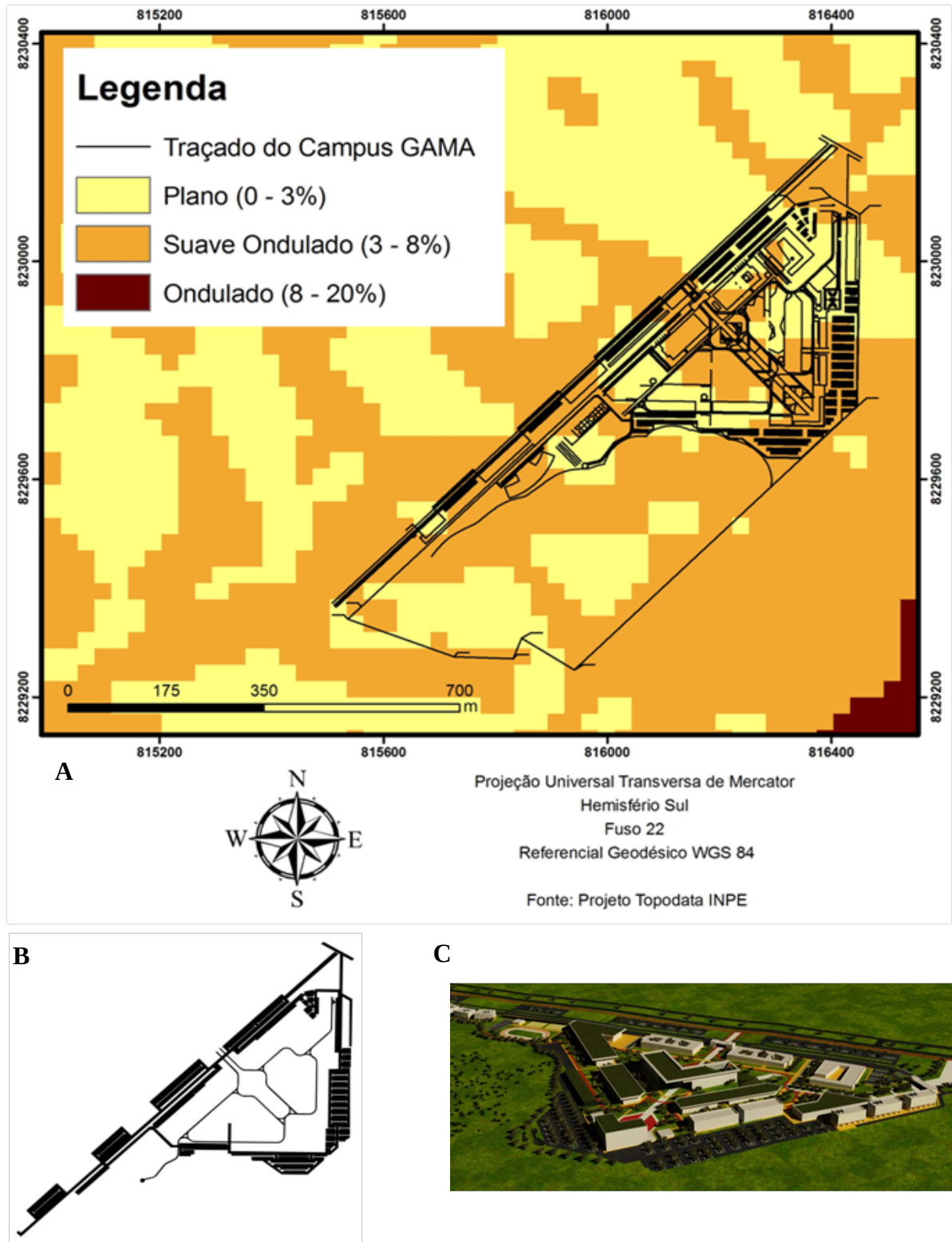
Fonte: **A.** e **B.** Elaborados pela autora com base em dados obtidos na UnB e no projeto Topodata do INPE. **C.** Romero, Silva e Pazos (2012, p. 90).

Figura 42. Representação gráfica do *Campus Darcy Ribeiro*, UnB. **A.** Mapa de declividade. **B.** Planta do traçado. **C.** Fotografia aérea.



Fonte: **A.** e **B.** Elaborados pela autora com base em dados obtidos na UnB e no projeto Topodata do INPE. **C.** Luan (2014).

Figura 43. Representação gráfica do *Campus Gama*, UnB. **A.** Mapa de declividade. **B.** Planta do traçado. **C.** Maquete eletrônica.



Fonte: **A.** e **B.** Elaborados pela autora com base em dados obtidos na UnB e no projeto Topodata do INPE. **C.** Romero, Silva e Pazos (2012, p. 142).

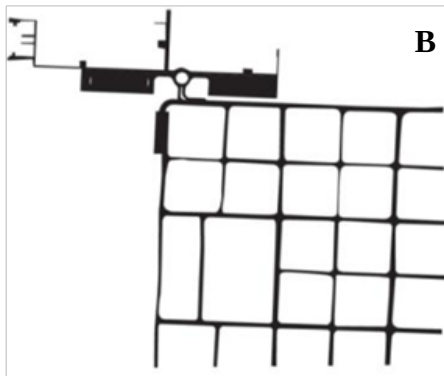
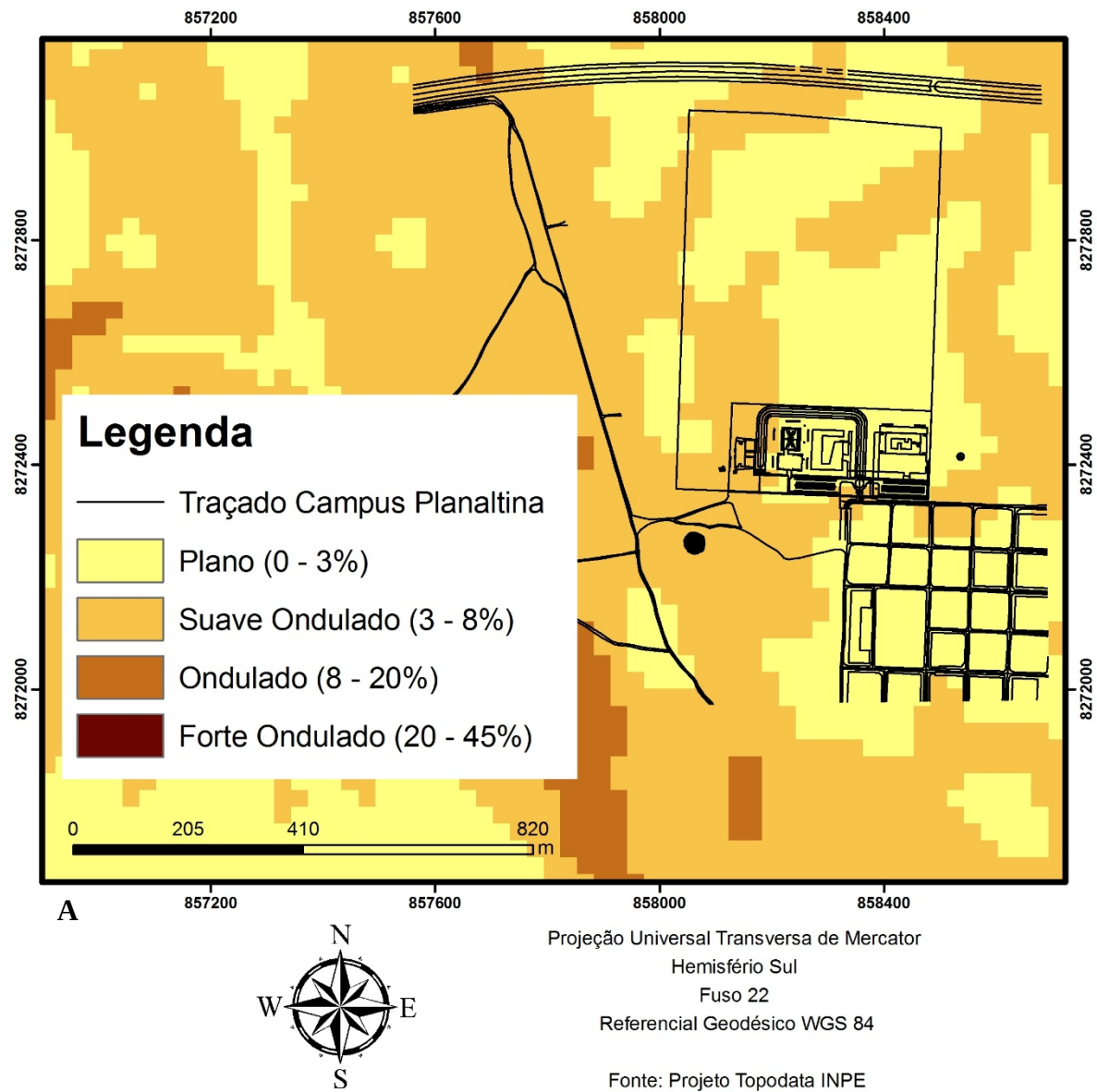
Para o *Campus* Planaltina, da UnB, foi adotado traçado em grelha ortogonal, formado por quarteirões com áreas internas livres. Ruas, avenidas e praças formam o conjunto de um *campus* mais urbano, com outra parte, mais bucólica, bastante arborizada. Todas as ruas e avenidas contêm faixas verdes arborizadas ao longo dos edifícios e biovaletas para contribuir na infiltração das águas de chuva (Figura 44).

Esse *campus* foi implantado predominantemente na porção plana do sítio, cujo terreno apresenta relevo plano a suave ondulado, com declividade variando de 0% a 8% (EMBRAPA, 1979). Nesse caso, o traçado regular em grelha ortogonal está perfeitamente adequado, não incidindo problemas com relação à drenagem das águas pluviais, embora neste modelo a quantidade de ruas pavimentadas seja maior do que no traçado orgânico. Importante ressaltar que esse tipo de traçado favoreceu a integração com a malha da cidade na qual o *Campus* Planaltina está localizado.

No *Campus* Aparecida de Goiânia, da UFG, foi verificada incompatibilidade entre a declividade do terreno e seu traçado. O terreno apresenta relevo que varia de plano a ondulado, isto é, uma grande variação de declividade, oscilando entre 0% e 20% (EMBRAPA, 1979). Não se percebe coerência formal entre o delineamento do traçado e as curvas de nível, ou seja, a topografia não foi levada em consideração em seu aspecto tridimensional (Figura 45). Em função dessa variação, foram evidenciadas dificuldades com a rede de drenagem e significativas variações de nível na via que compõe o anel viário. Este diagnóstico pode ser muito útil na orientação para definir a área de expansão, observando-se maior interface do traçado com a declividade do terreno, direcionando-a para a porção mais plana do sítio.

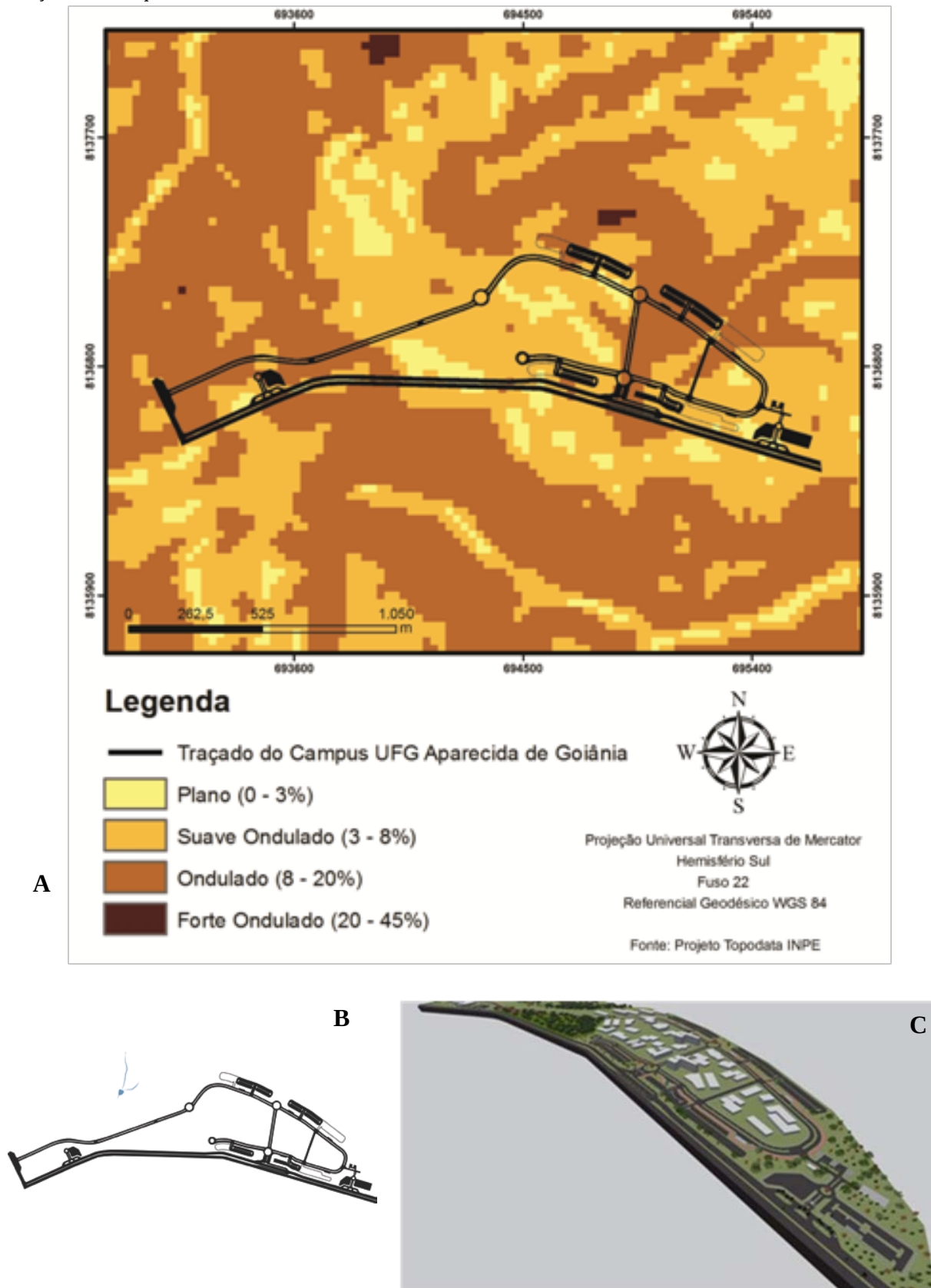
Na UFMG, para o *Campus* Pampulha foi adotado traçado com modelo híbrido, sendo uma parte orgânica, com ruas curvas, e outra parte em grelha ortogonal (Figura 46). É evidente que esse traçado foi resultado do acompanhamento das vias à variação das curvas de nível do terreno, em virtude de sua declividade. Essa opção pelo modelo híbrido levou a um traçado diferenciado dos demais *campi* das IFES aqui analisadas. Por sua localização no meio urbano, o *Campus* Pampulha apresenta forte integração com a cidade, ainda que preservando áreas de mata que envolvem o sítio no qual foi implantado. Sua implantação foi realizada de forma que as vias ficassem na porção mais plana do sítio, com relevo variando de plano a ondulado, isto é, com declividade de 3% a 20% (EMBRAPA, 1979).

Figura 44. Representação gráfica do *Campus Planaltina*, UnB. **A.** Mapa de declividade. **B.** Planta do traçado. **C.** Maquete eletrônica.



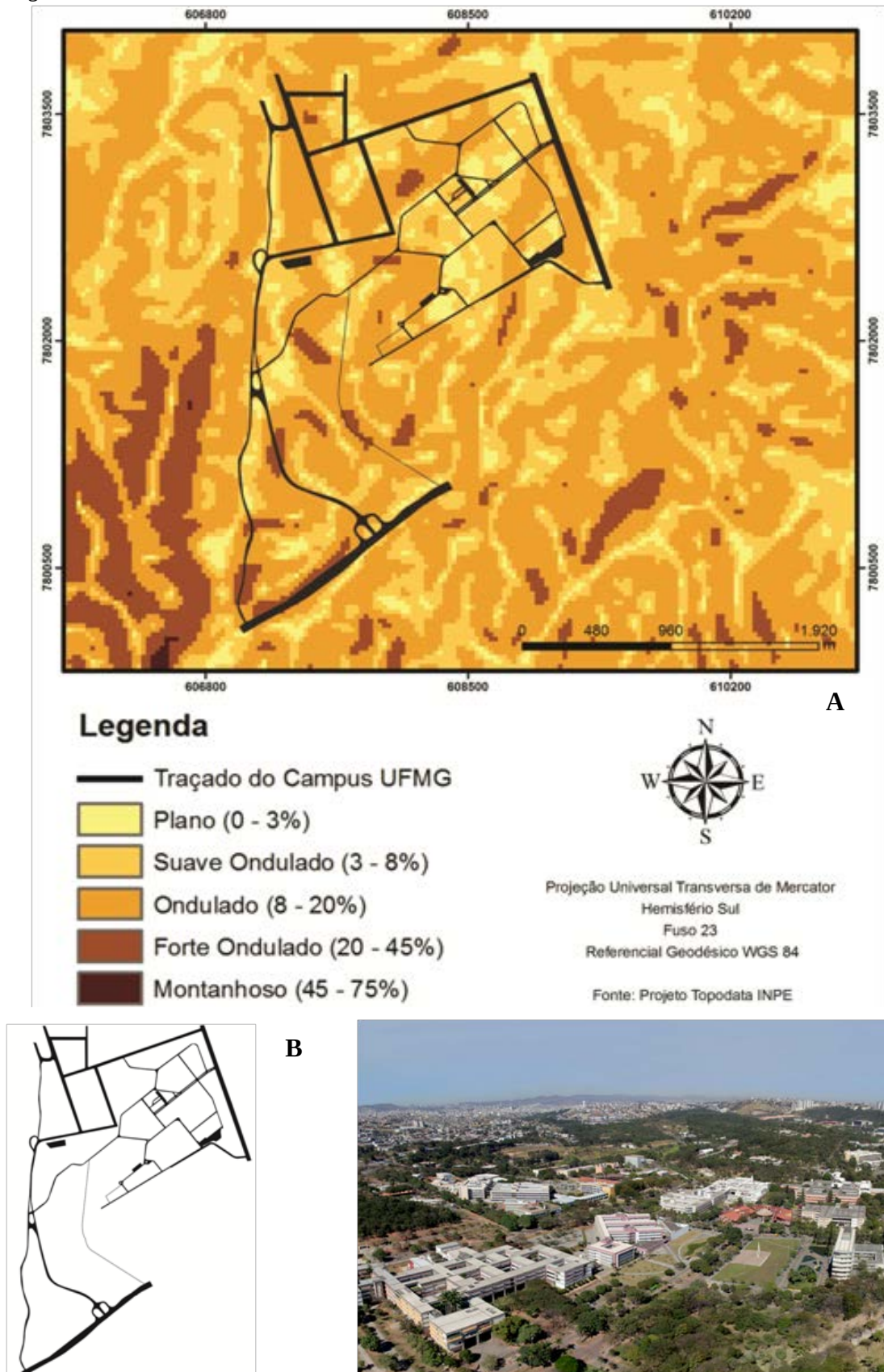
Fonte: **A.** e **B.** Elaborados pela autora com base em dados obtidos na UnB e no projeto Topodata do INPE. **C.** Romero, Silva e Pazos (2012, p. 156).

Figura 45. Representação gráfica do *Campus Aparecida de Goiânia*, UFG. **A.** Mapa de declividade. **B.** Planta do traçado. **C.** Maquete eletrônica.



Fonte: **A.** e **B.** Elaborados pela autora com base em dados da UFG e do projeto Topodata do INPE. **C.** Gerência de Planejamento e Projetos (GPP) do CEGEF/UFG.

Figura 46. Representação gráfica do *Campus Pampulha*, UFMG. **A.** Mapa de declividade. **B.** Planta do traçado. **C.** Fotografia aérea.



Fonte: **A.** e **B.** Elaborados pela autora com base em dados obtidos no Departamento de Planejamento Físico e Projetos (DPFP) e no projeto Topodata do INPE. **C.** TrekEarth (2012).

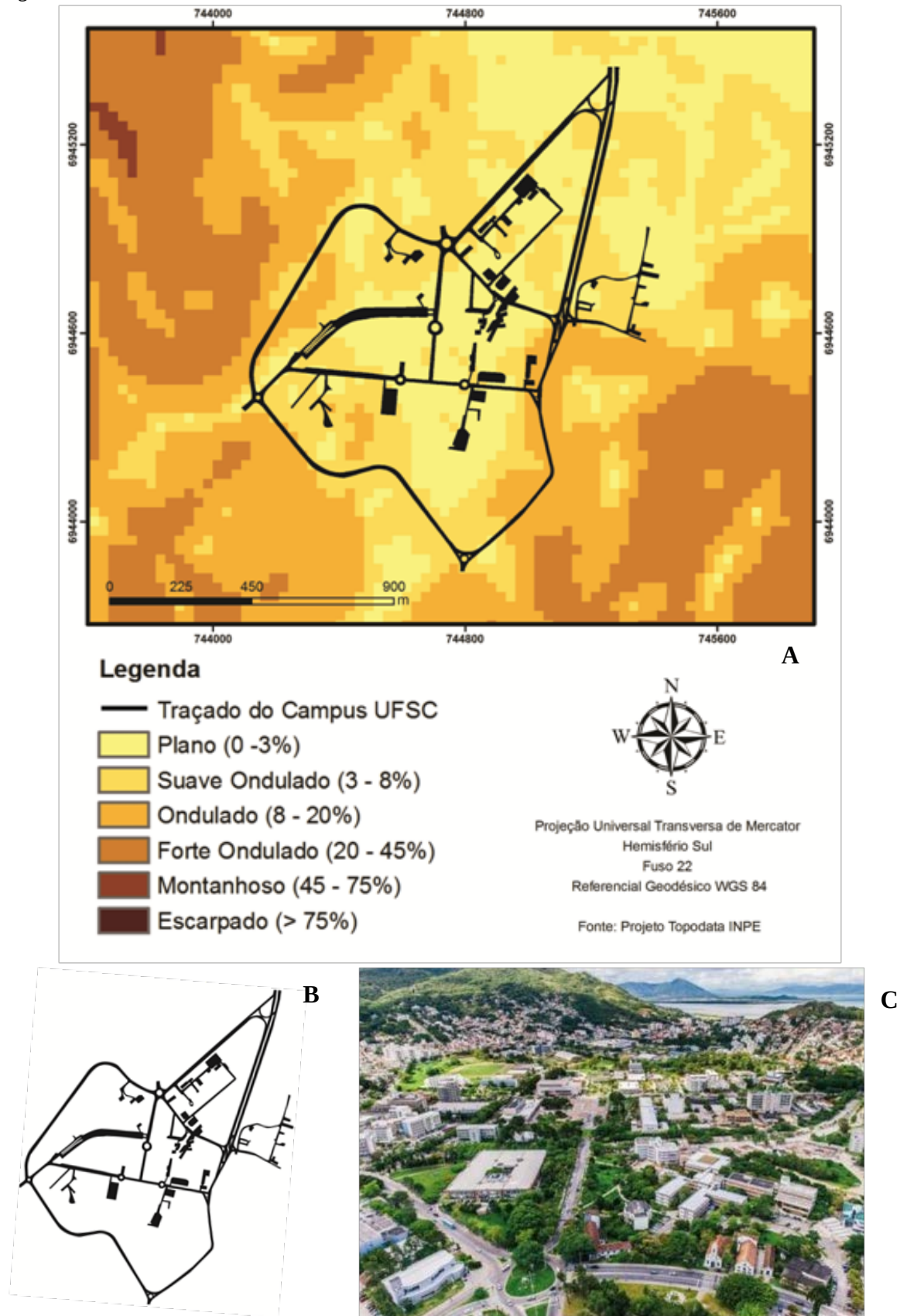
O traçado do *Campus* da UFSC evidenciou a escolha do trecho mais plano do sítio para a sua implantação (Figura 47). Como está localizado entre terrenos montanhosos, seu assentamento ocorreu no trecho que apresenta relevo entre plano a ondulado, com variação de declividade de 0% a 20% (EMBRAPA, 1979). Por ser um traçado com configuração híbrida, são percebidas partes orgânicas e outras em traçado ortogonal. Foi adotado anel viário em seu entorno, com diversos acessos por meio de rotatórias, para evitar cruzamentos.

Já o traçado do *Campus* Santa Maria, da UFSM, chama atenção por sua subdivisão em inúmeras quadras com dimensões variadas. Ali foi adotado o formato de grelha ortogonal, sem a presença de anel viário, entrecortado por vias nos diversos sentidos. Foi definido com uma implantação mais espalhada, observando-se a preservação de recortes de mata com vegetação nativa (Figura 48). Constatou-se que a declividade foi o elemento determinante para a sua implantação, pois o terreno possui grande variação de relevo, indo de plano a ondulado, isto é, com declividade variando de 0% a 20% (EMBRAPA, 1979).

O *Campus* São Carlos, da UFSCar, foi implantado em uma área com bastante variação de relevo, indo do plano ao forte ondulado, ou seja, com declividade variando de 0% a 8% e de 20% a 45%, respectivamente (EMBRAPA, 1979), o que demandou um planejamento mais elaborado. Como resultado, apresenta traçado irregular, acompanhando as curvas de nível e respeitando os cursos d'água, embora se observe uma divisão interna das quadras no formato aproximado de grelha, mais regular (Figura 49). Também nesse *campus* foi adotado o anel viário, uma constante na maioria dos traçados analisados no presente trabalho, bem como a rotatória em lugar de cruzamentos.

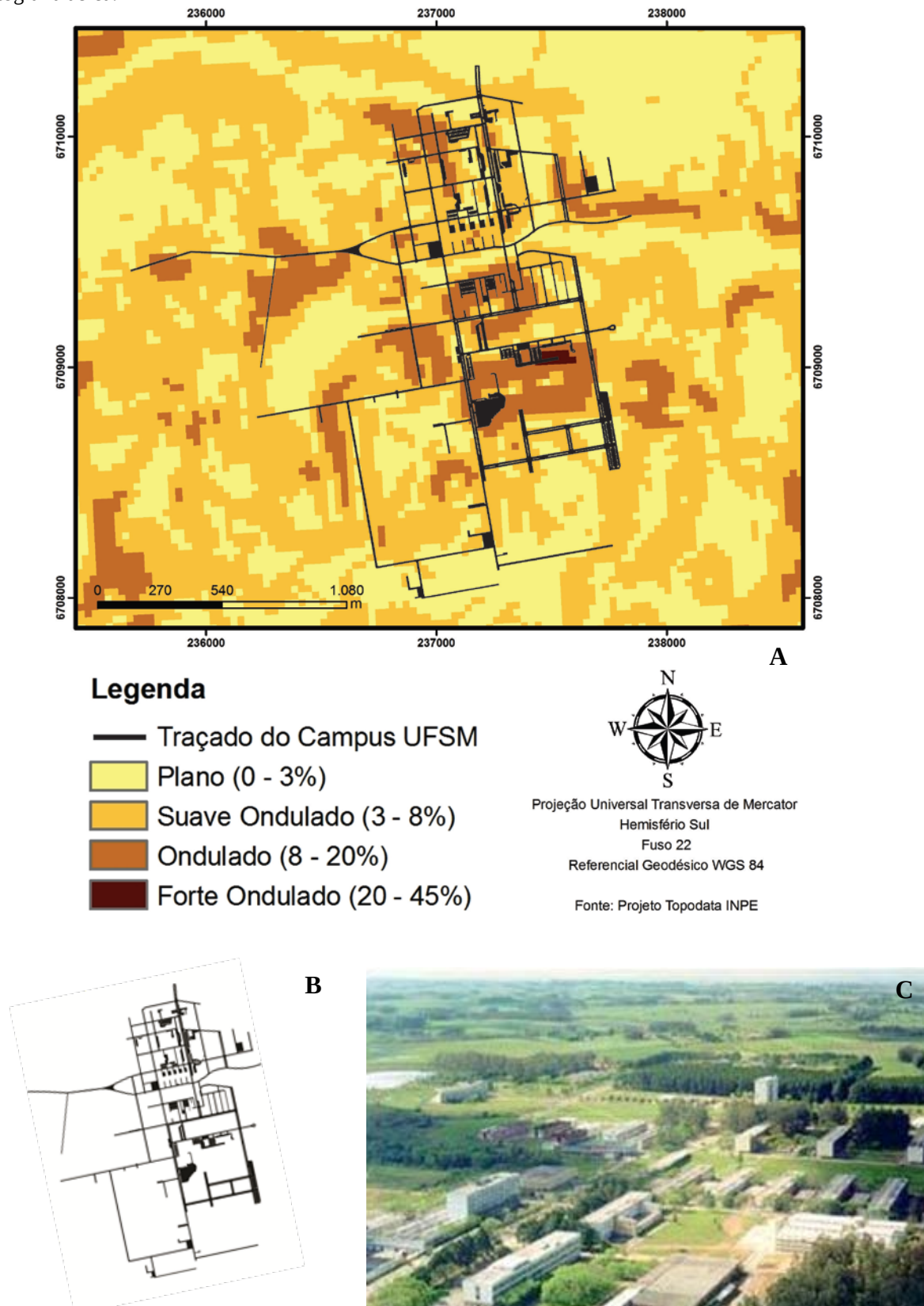
O *Campus* Glória, da UFU, apresenta traçado com muitas subdivisões em quadras, não tendo anel viário claramente definido. Seu planejamento foi realizado com abordagem sob a ótica da infraestrutura verde (Figura 50). Assim, apresenta um conjunto de técnicas compensatórias, conforme detalhado anteriormente no Quadro 5, como parte do planejamento urbano, com vistas à redução do escoamento superficial e à obtenção de ambiente com melhor qualidade de vida para todos os usuários. No plano diretor desse *campus*, as questões que envolvem a preservação ambiental foram abordadas de modo bastante detalhado, merecendo destaque dentro deste estudo. Está localizado em um sítio com declividade bastante variada, o que leva a crer que o traçado sofreu grande influência em sua morfologia e configuração em virtude desta característica. O terreno apresenta relevo que varia de plano a ondulado, cuja declividade se situa entre 0% e 20% (EMBRAPA, 1979), um fator que demandou muita atenção para o limite de inclinação das vias e da rede de drenagem.

Figura 47. Representação gráfica do *Campus* da UFSC. **A.** Mapa de declividade. **B.** Planta do traçado. **C.** Fotografia aérea.



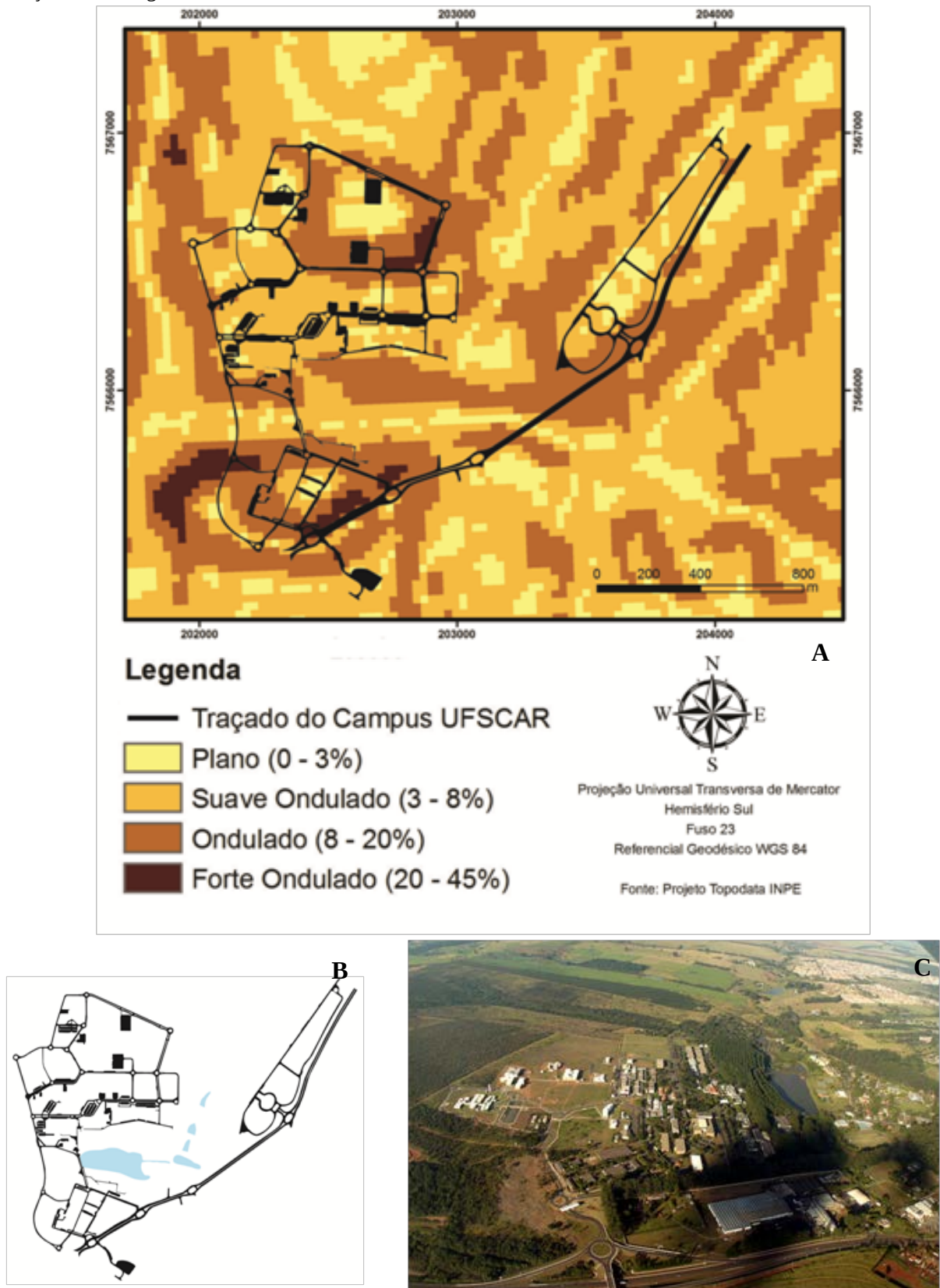
Fonte: A. e B. Elaborados pela autora com base em dados da UFSC e do projeto Topodata do INPE. C. UFSC (2014).

Figura 48. Representação gráfica do *Campus* da UFSM. **A.** Mapa de declividade. **B.** Planta do traçado. **C.** Fotografia aérea.



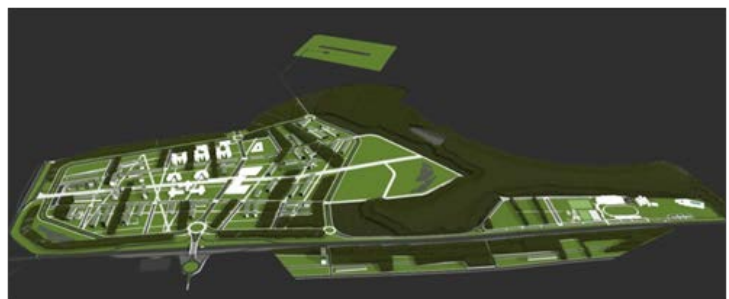
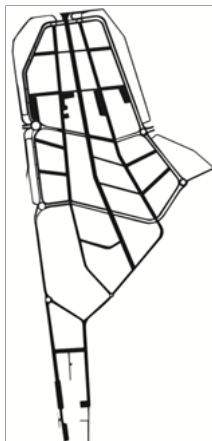
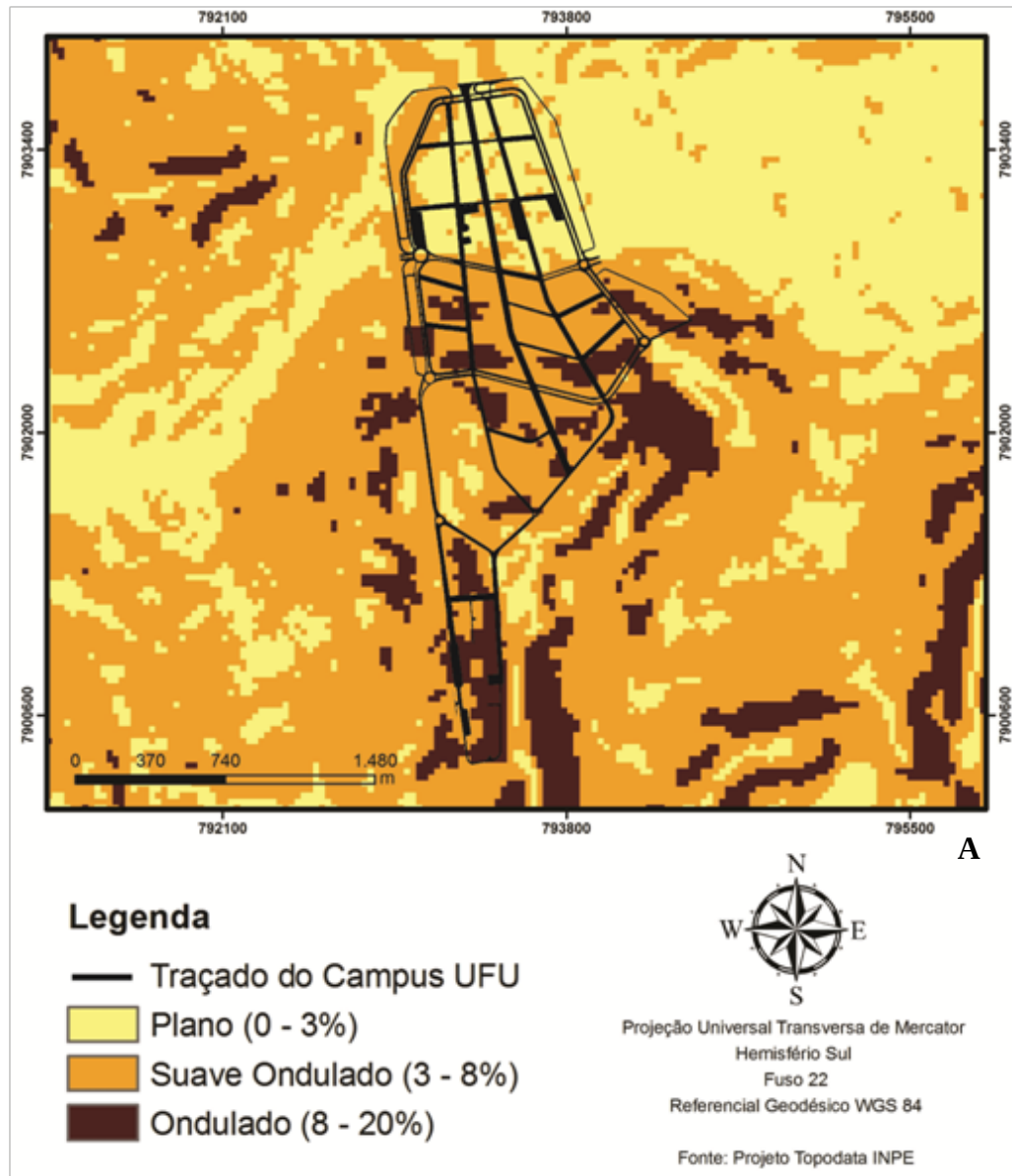
Fonte: **A.** e **B.** Elaborados pela autora com base em dados da UFSM e do projeto Topodata do INPE. **C.** UFSM (2001).

Figura 49. Representação gráfica do *Campus São Carlos, UFSCar*. **A.** Mapa de declividade. **B.** Planta do traçado. **C.** Fotografia aérea.



Fonte: **A.** e **B.** Elaborados pela autora com base em dados obtidos no Escritório de Desenvolvimento Físico da UFSCar e no projeto Topodata do INPE. **C.** Fotografia... (2007).

Figura 50. Representação gráfica do *Campus Glória*, UFU. **A.** Mapa de declividade. **B.** Planta do traçado. **C.** Maquete eletrônica.



Fonte: A. e B. Elaborados pela autora com base em dados da UFU e do projeto Topodata do INPE. C. Prieto (2011).

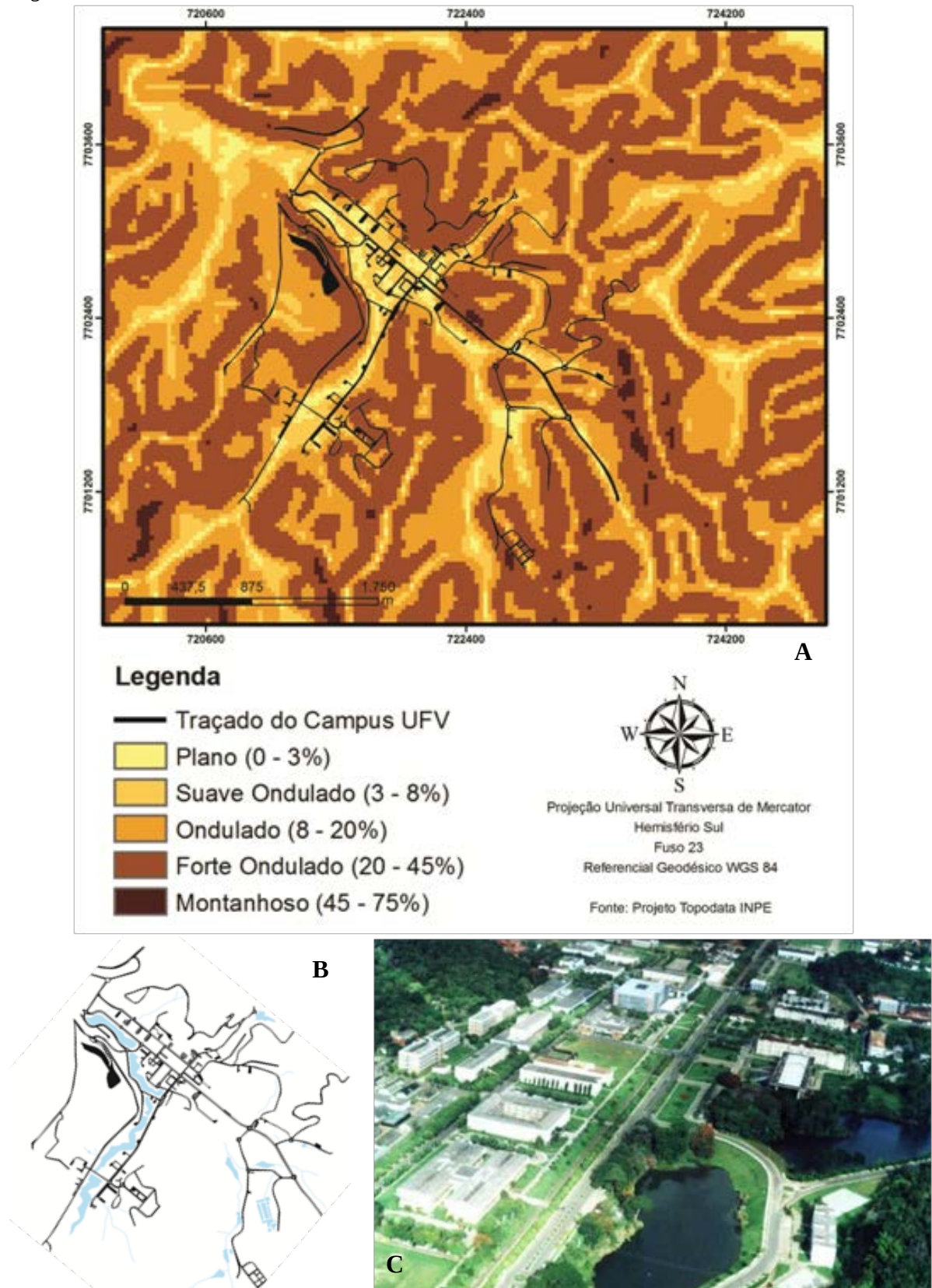
O traçado urbanístico definido para o *Campus* Viçosa, da UFV, apresenta uma surpreendente precisão e coerência com o terreno, que possui grande variação de declividade (Figura 51). Os cursos d'água foram tratados como elementos definidores da implantação, pois o traçado delineou seu entorno. Para esse *campus*, foi definido um traçado axial, em que dois grandes eixos principais se cruzam e, ao longo deles, se originam outras vias que se desenvolvem sempre de modo coordenado com a declividade, confirmando-se a interface com a drenagem. O relevo que predomina no terreno varia entre ondulado e forte ondulado, correspondendo ao intervalo de declividade entre 8% e 45% (EMBRAPA, 1979), a maior variação de declividade diagnosticada entre as IFES estudadas.

O *Campus* da Ilha do Fundão, da UFRJ, possui algumas particularidades, a começar por sua localização em uma ilha perto do continente, separada deste por um canal (Figura 52). Assentado sobre um aterro, não apresenta variações significativas em seu relevo, que é predominantemente plano a suave ondulado, na faixa de 0% a 8% de declividade (EMBRAPA, 1979). No entanto, por sua condição geográfica entre o oceano e o canal, é uma porção desconectada da cidade. Esse assentamento muito próximo do nível do mar justifica o enorme cuidado dispensado pelo plano diretor às questões de desobstrução do canal do Cunha, bem como a adoção de projeto de drenagem urbana, com soluções consideradas inovadoras pelo plano diretor, preferencialmente desenvolvidas dentro da própria instituição. Essas soluções a que o plano diretor se refere podem ser consideradas como a adoção de técnicas compensatórias associadas à drenagem pluvial urbana a serem implantadas no *Campus* da Ilha do Fundão, levando-se em consideração as suas peculiaridades.

O *Campus* do Vale, da UFRGS, localizado próximo ao morro Santana e à cidade de Viamão, na mesorregião metropolitana de Porto Alegre, tem poucos trechos planos, chegando a apresentar relevo forte ondulado, com declividade variando entre 20% e 45% (EMBRAPA, 1979). Por essa razão, sua implantação demonstrou a preocupação em buscar os trechos de terreno com relevo plano a suave ondulado (Figura 53).

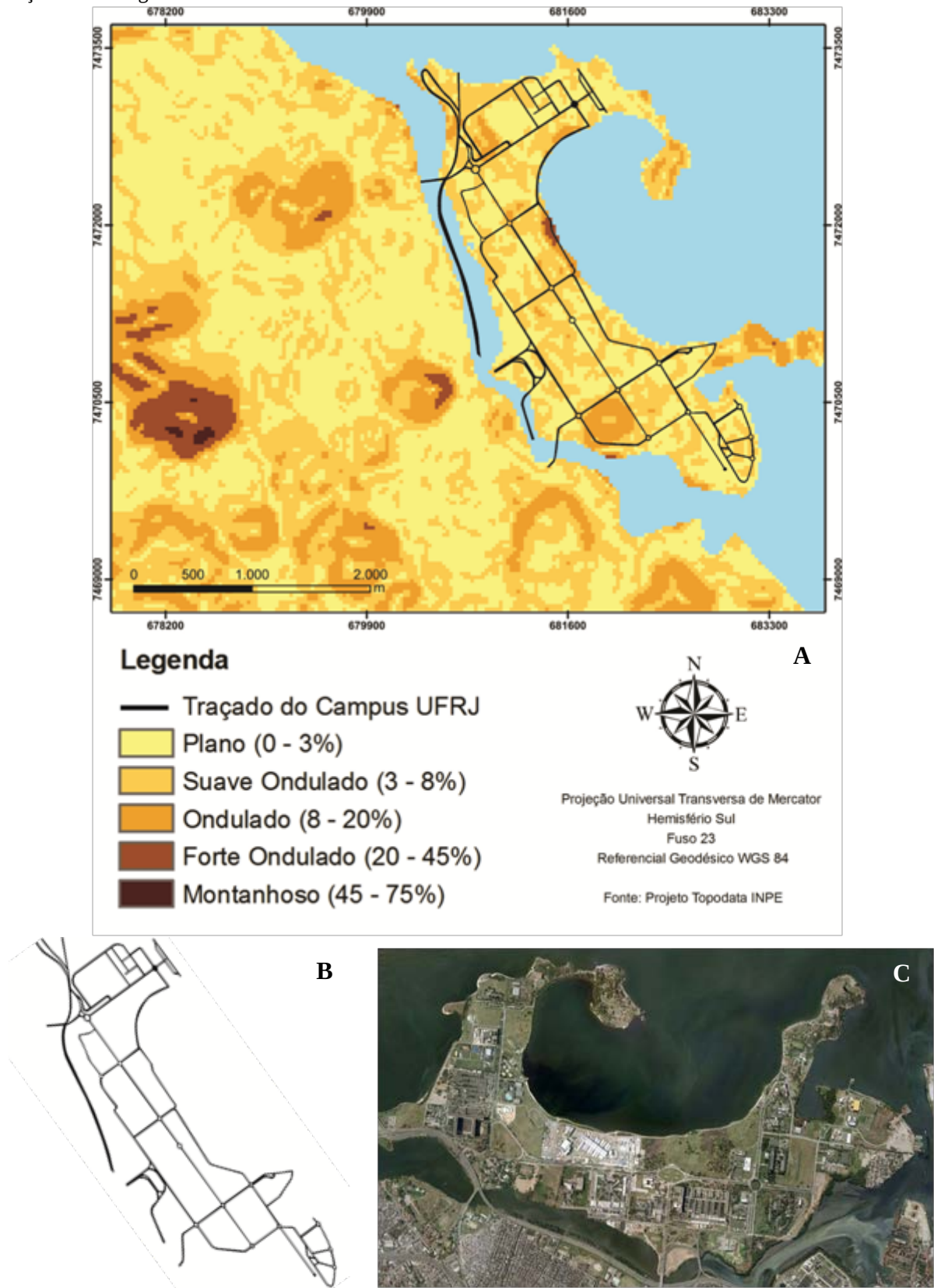
Ainda assim, no *Campus* do Vale se observa um traçado mais curvilíneo, tanto no anel viário quanto nas vias internas que compõem as quadras. Também se destaca o paralelismo das vias ao sentido das curvas de nível. Percebe-se a predominância de elementos de ligação entre as vias (rotatórias), evitando-se a ocorrência de cruzamentos. Um diferencial, nesse caso, é que boa parte dos edifícios se desenvolve ao longo da avenida de acesso principal, enquanto mais da metade da área do anel viário corresponde a uma APP, sem possibilidade de utilização.

Figura 51. Representação gráfica do *Campus Viçosa*, UFV. **A.** Mapa de declividade. **B.** Planta do traçado. **C.** Fotografia aérea.



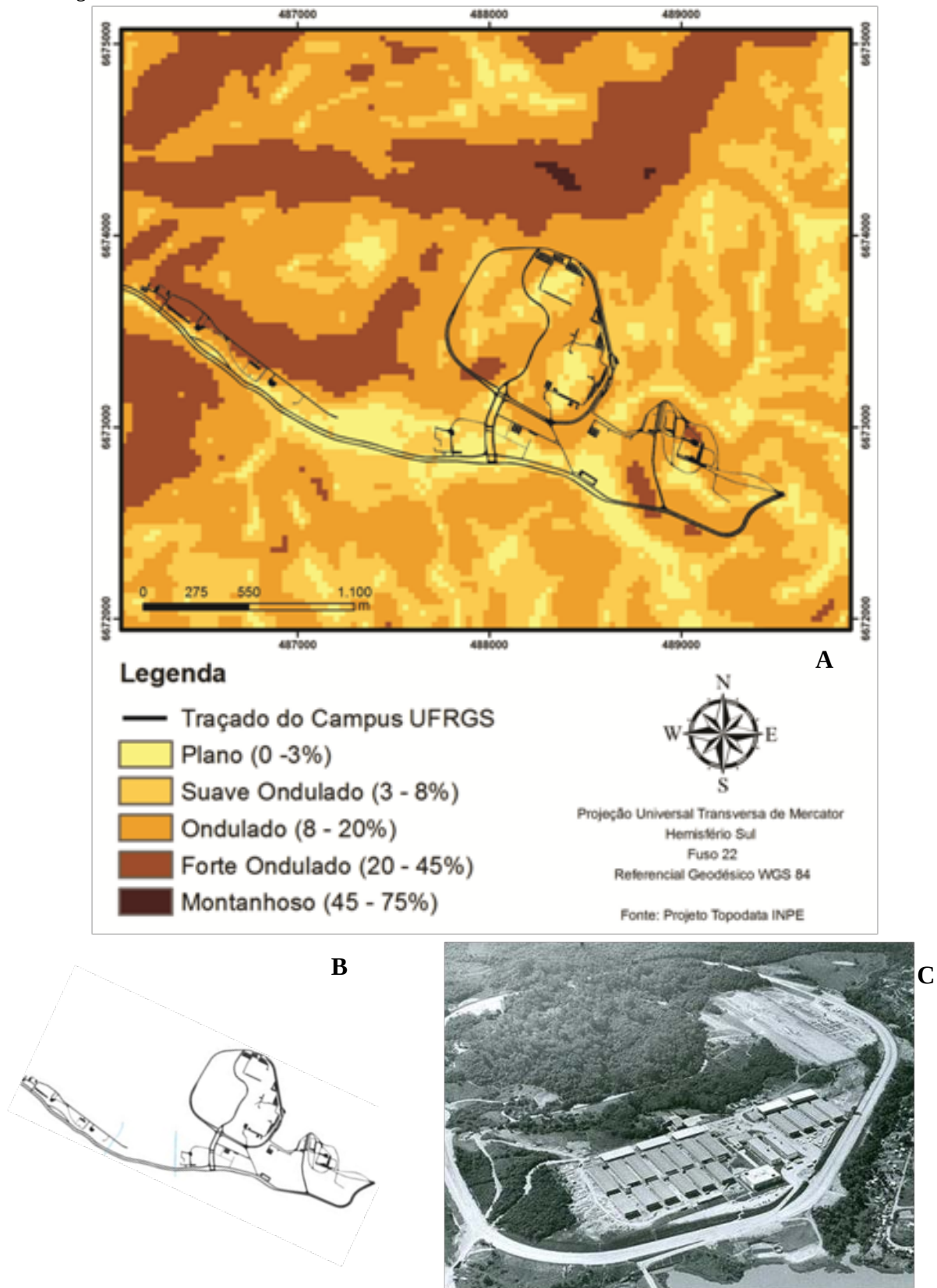
Fonte: A. e B. Elaborados pela autora com base em dados da UFV e do projeto Topodata do INPE. C. Campus... (2014).

Figura 52. Representação gráfica do *Campus* da Ilha do Fundão, UFRJ. **A.** Mapa de declividade. **B.** Planta do Traçado. **C.** Fotografia aérea.



Fonte: **A.** e **B.** Elaborados pela autora com base em dados da UFRJ e do projeto Topodata do INPE. **C.** UFRJ (2014).

Figura 53. Representação gráfica do *Campus do Vale*, UFRGS. **A.** Mapa de declividade. **B.** Planta do traçado. **C.** Fotografia aérea.



Fonte: **A.** e **B.** Elaborados pela autora com base em dados obtidos na Superintendência de Infraestrutura da UFRGS, no Projeto UFRGS e no projeto Topodata do INPE. **C.** Vista... (2014).

Por suas dimensões reduzidas, o *Campus* Palmas, da UFT, apresenta traçado bastante simplificado e regular, sendo dotado de rotatórias em substituição aos cruzamentos. É composto basicamente de uma quadra com áreas de estacionamento em sua periferia (Figura 54). Localizado às margens do Lago de Palmas, possui relevo muito regular, variando de plano a suave ondulado, na faixa de 0% a 8% de declividade (EMBRAPA, 1979), o que justifica a adoção do traçado em grelha.

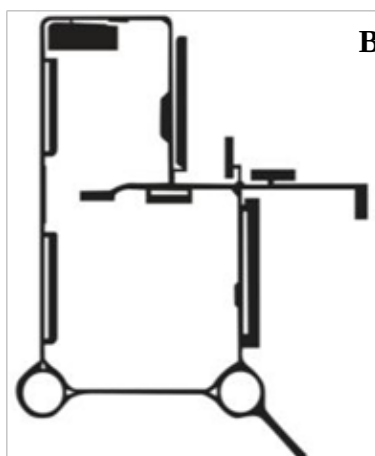
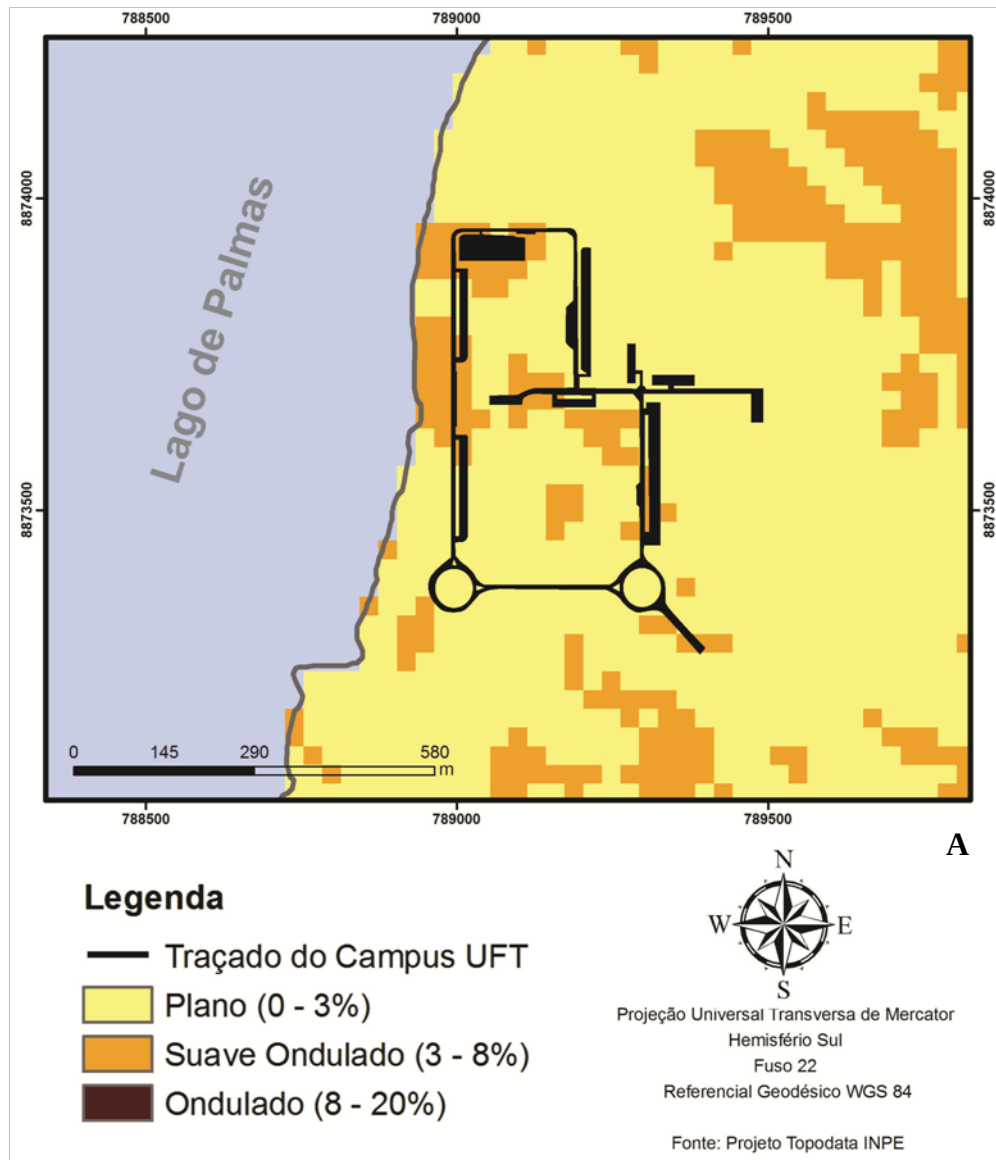
Em relação à interface com a drenagem urbana, os resultados apresentados nos planos diretores das IFES são muito diversificados, pois enquanto alguns apresentam interface e orientações mais específicas, outros sequer abordam o assunto. Isso demonstra que o maior envolvimento do plano diretor com a infraestrutura depende da abordagem específica de cada instituição, sendo uma característica da política de gestão e planejamento para o espaço físico.

Nem todos os planos diretores apresentados têm características de participação da comunidade universitária, o plano participativo, que é recomendável pelo Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001). Não se percebe integração de soluções ou padronização entre projetos urbanísticos das IFES, o que revela a inexistência de compartilhamento de informações e experiências de modo orientado entre essas instituições. Não existem recomendações normativas do MEC padronizadas sobre esses aspectos para as IFES. A única iniciativa adotada para infraestrutura pelo governo são as recomendações contidas no manual elaborado pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2012c), que incentiva o uso preferencial de desenvolvimento de baixo impacto em drenagem urbana.

Como ferramenta, é importante destacar a importância do uso do geoprocessamento na precisão dos dados levantados para o planejamento. Cabe à administração superior das IFES determinar que todo levantamento realizado em sítios para os quais se está elaborando o planejamento urbano seja realizado com o uso de georreferenciamento, pois este seria o passo inicial para se padronizar informações com qualidade e precisão, com o intuito de fortalecer os resultados de um projeto urbanístico ou de um planejamento, levando em consideração os fatores determinantes daquela gleba ou região.

No que se refere aos traçados dos *campi* das IFES, estes apresentaram elementos predominantes, tais como o anel viário, muitas vezes justificados pela coerência com a topografia do sítio. Geralmente, são utilizadas quadras inseridas em uma via principal circundante, denominada anel viário, por facilitar a integração dos edifícios administrativos com os didáticos e de serviço por meio de acessos restritos, públicos e de serviço, normalmente setorizados.

Figura 54. Representação gráfica do *Campus Palmas*, UFT. **A.** Mapa de declividade. **B.** Planta do traçado. **C.** Fotografia aérea.



Fonte: **A.** e **B.** Elaborados pela autora com base em dados da UFT e do projeto Topodata do INPE. **C.** Mais... (2012).

Outras predominâncias verificadas nos traçados estudados foram a utilização de rotatórias em substituição aos cruzamentos e a ausência de parcelamento em lotes. É notável a predominância de uma via mais larga no acesso principal e é grande a variedade da localização dos estacionamentos nesses traçados, por vezes no perímetro com acesso pelo anel viário e, em outras situações, inseridos nas quadras perto dos edifícios. Não há padronização, evidenciando que, de fato, cada *campus* é tratado em concordância com suas características próprias, dando uma identidade a cada instituição implantada.

É oportuno salientar que não se consegue obter com facilidade o plano diretor detalhado dessas instituições, juntamente com o projeto urbanístico delineado para seus novos *campi* ou suas expansões em *campi* existentes. Em alguns casos, existem publicações, na forma de artigos científicos e livros. Em outros casos, as informações estão nos próprios *sites* das instituições. Em outros, ainda, não existem informações disponíveis. Essa situação revela que o processo de planejamento dentro das IFES poderia ocorrer de modo mais transparente e aberto, sob a responsabilidade do governo federal, criando-se um banco de dados conectando os *sites* de cada instituição, de modo a tornar possível o compartilhamento de todo o processo de planejamento, incluindo projetos elaborados, de forma mais coordenada e ajustada para todas as IFES.

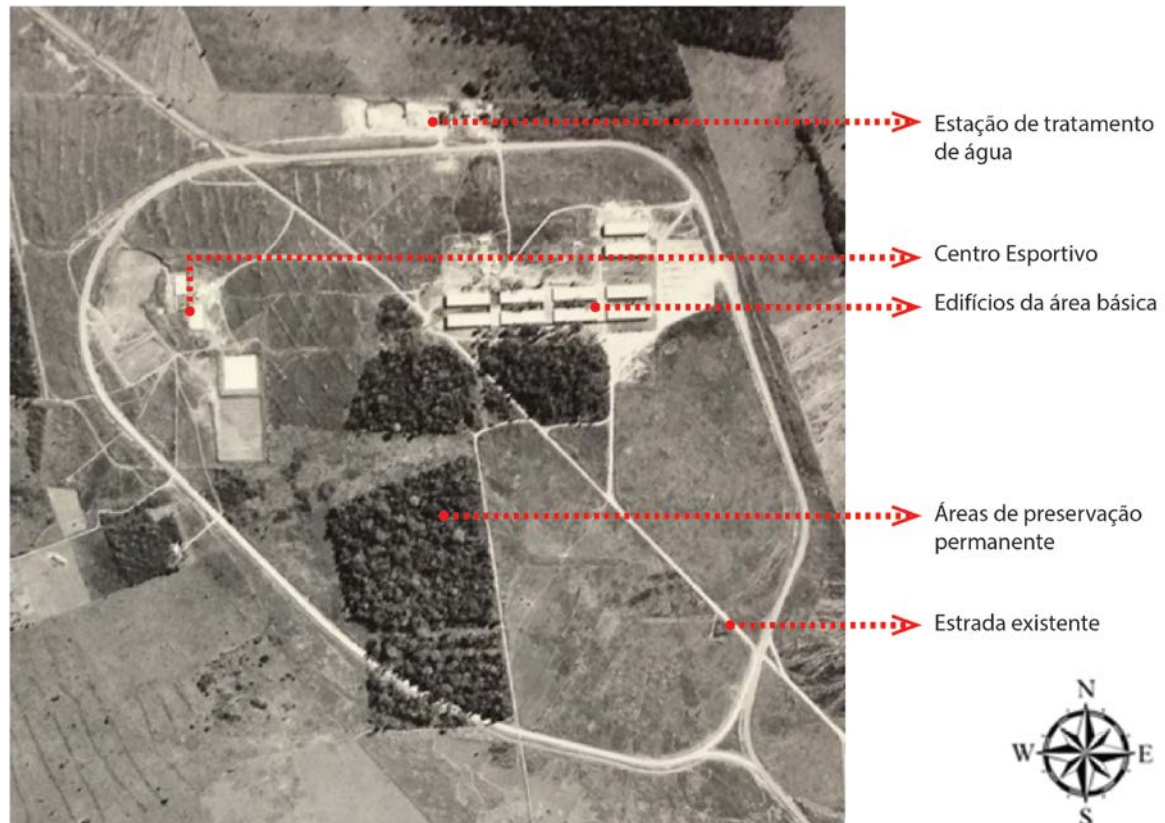
5.2 Anel viário do *Campus* Samambaia

Conforme registro encontrado no documento de atualização de seu Plano Diretor Físico de 1984, embora a UFG tenha sido criada em 1960, somente em 1971 foi implantado o Instituto de Ciências Humanas e Letras. Esse foi o primeiro edifício da área básica a ser construído no anel viário do *Campus* Samambaia. Já em 1975, como ilustrado na Figura 55, confirmou-se a implantação dos dez edifícios de modelo padrão edificadas em pares que formam a área básica. Diagnosticou-se, ainda, a implantação do Centro Esportivo e da estação de tratamento de água.

Uma estrada interceptava o anel viário no sentido sudeste–noroeste, formando uma divisão em diagonal, por onde se acessava cada conjunto de edifícios implantados. A APP, denominada Bosque Auguste de Saint Hilaire, permanece até os dias atuais. O plano diretor de 1984 definiu a planta do traçado urbano para o *Campus* Samambaia, na qual

constam o sistema viário principal, as áreas de estacionamento e as vias de pedestres (Figura 56). Esse traçado não foi executado em sua totalidade, especialmente no que se refere às vias duplicadas indicadas em todo o anel viário, conforme será visto adiante.

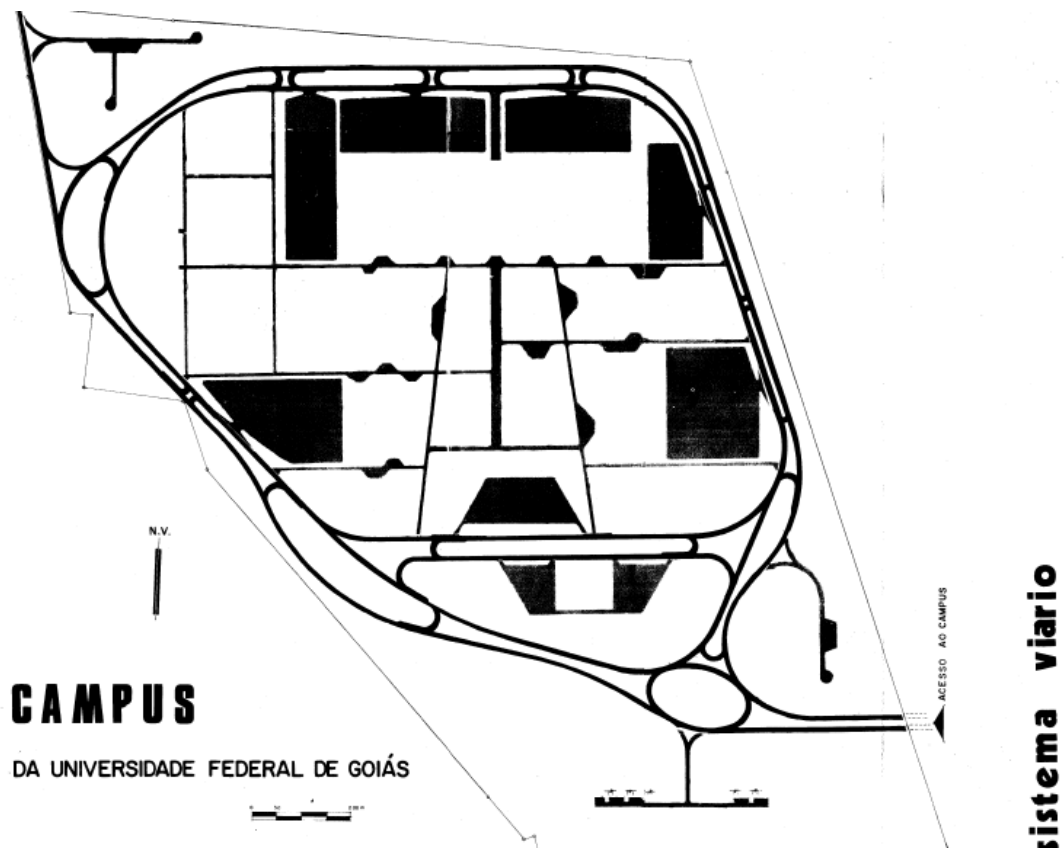
Figura 55. Fotografia aérea do anel viário do *Campus Samambaia*, UFG, em 1975.



Fonte: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável de Goiânia - SEMDUS.

Nessa proposta, a estrada que dividia o anel viário foi eliminada. Seu espaço central recebeu um tratamento de configuração mais integrada, ficando os edifícios interligados entre si por passarelas descobertas para pedestres, enquanto os estacionamentos foram dispostos em sua periferia com acesso pelo anel. O uso de cruzamentos foi evitado, adotando-se a rotatória como elemento de conexão e para fazer a mudança do sentido das vias. A caracterização do anel viário do *Campus Samambaia* será realizada a seguir com um maior nível de detalhamento.

Figura 56. Planta do traçado do *Campus Samambaia*, UFG, em 1984.



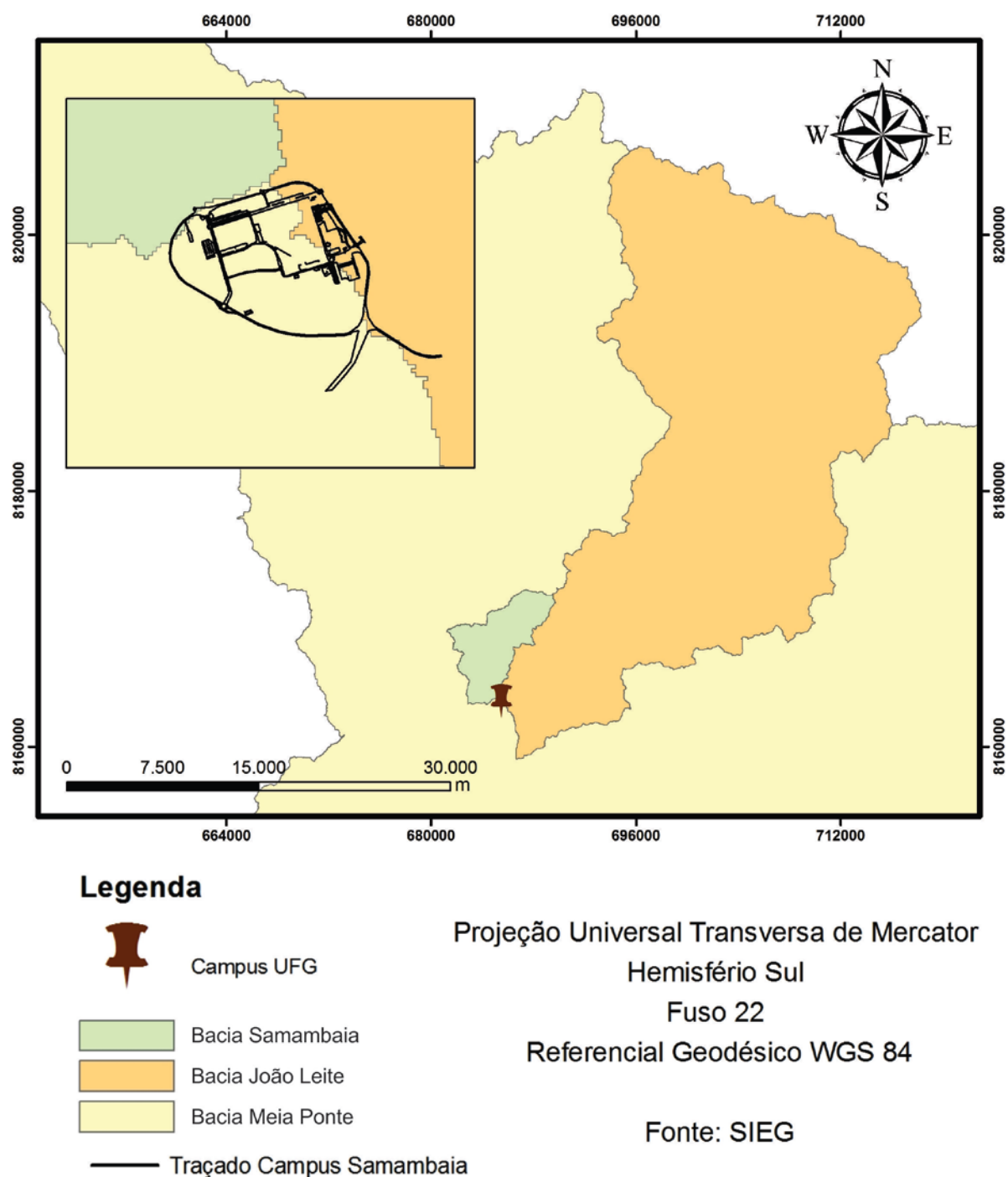
Fonte: UFG, 1984.

5.2.1 Caracterização do anel viário do *Campus Samambaia*

Por se tratar de um estudo de planejamento urbano, com foco em desenvolvimento de baixo impacto em drenagem urbana, é imprescindível indicar a localização hidrográfica do anel viário do *Campus Samambaia*, da UFG (Figura 57). As sub-bacias do córrego Samambaia e do ribeirão João Leite estão localizadas dentro da bacia do rio Meia Ponte. O *Campus Samambaia* encontra-se na confluência das duas sub-bacias, mais precisamente em seu exutório. Portanto, é um sítio que sofre a influência das duas sub-bacias e causa influência na bacia do rio Meia Ponte para o sentido sul da cidade.

O anel viário do *Campus Samambaia* tem sido palco do maior desenvolvimento físico da UFG, tendo passado por alterações importantes em função do adensamento ocorrido como fruto da expansão do Reuni. O traçado indicado na Figura 58 apresenta o sistema viário e as áreas para estacionamento implementadas, necessárias ao atendimento da nova demanda de edifícios e, conseqüentemente, de seus usuários, isto é alunos, professores, técnicos administrativos, bem como a comunidade em geral.

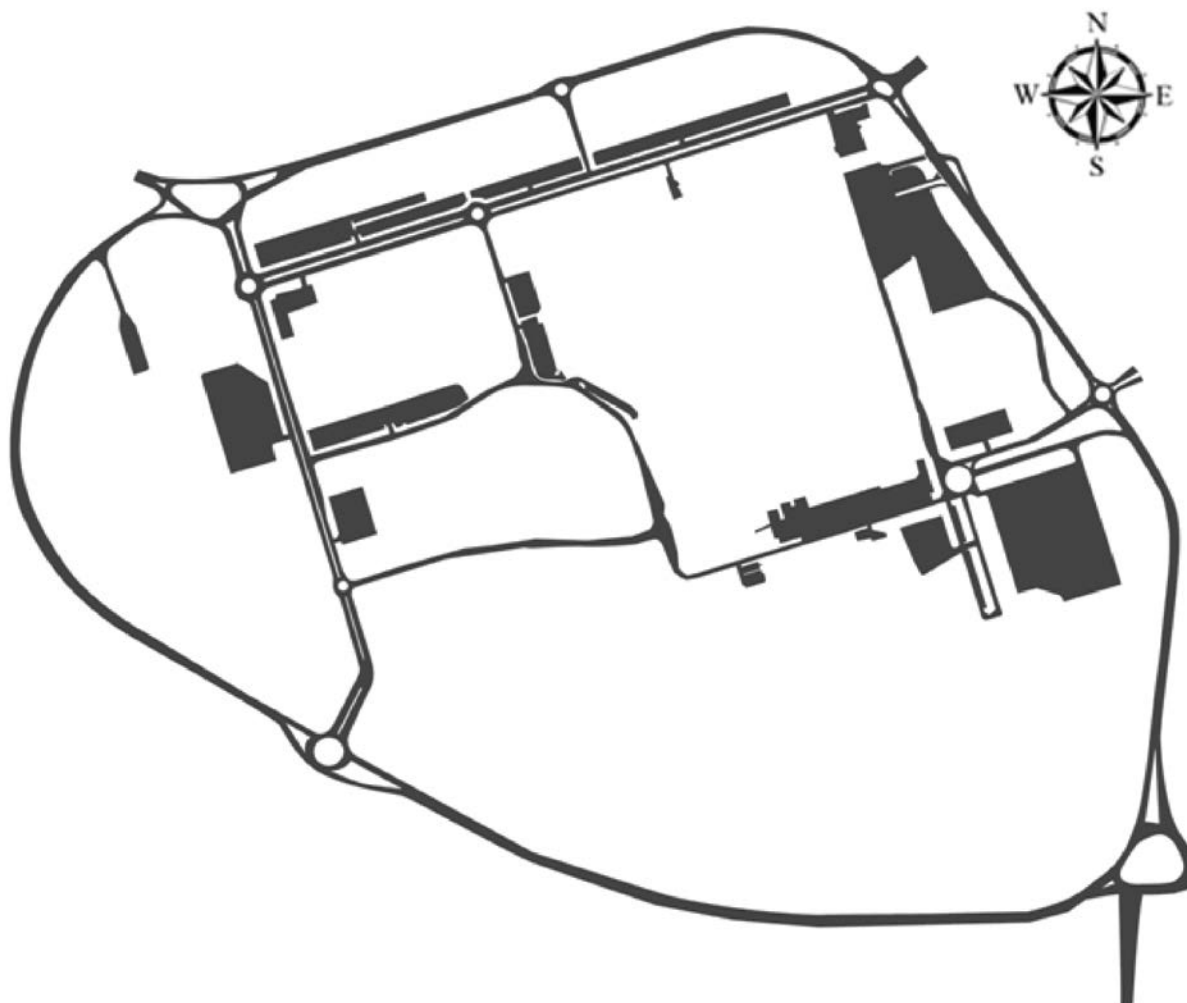
Figura 57. Mapa de localização hidrográfica do anel viário do *Campus Samambaia*, UFG.



Fonte: Elaborado pela autora.

O plano diretor do *Campus Samambaia*, da UFG, elaborado em 1976, com última revisão em 1984, não define em seus parâmetros urbanísticos o percentual mínimo de área permeável a ser observado, prevendo a ocupação máxima para seus edifícios em 40%. Esse plano tem como diretrizes a manutenção da vegetação natural composta de matas nativas e o aproveitamento da declividade natural do terreno considerada favorável à drenagem natural.

Figura 58. Planta do traçado do anel viário do *Campus Samambaia*, UFG, em 2013.



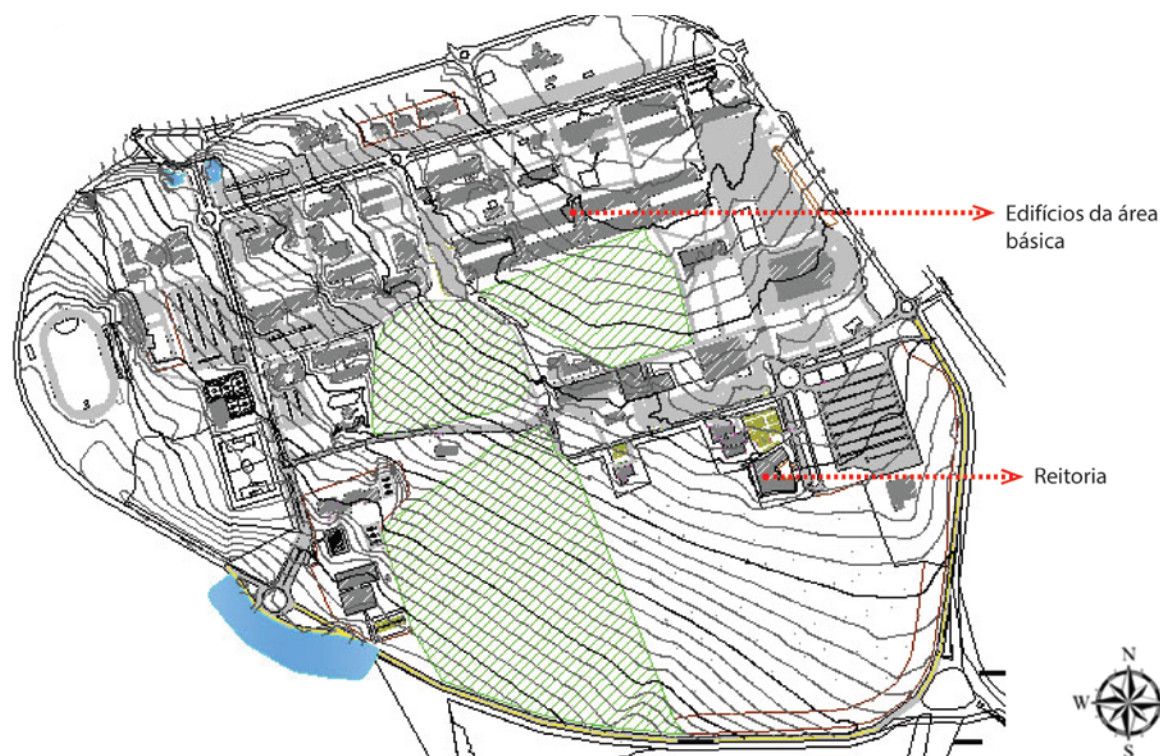
Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 59 indica o traçado do *Campus Samambaia* em 2013, com as curvas de nível em intervalos de 1,0 m, demonstrando terreno com declividade constante no sentido sul, com pouca variação no sentido sudoeste, o que confirma a orientação do plano diretor da UFG, que considerou a topografia do terreno favorável à drenagem natural. De fundamental importância, a definição da topografia é imprescindível na elaboração de todo projeto urbanístico e de drenagem, bem como dos projetos das edificações, pois constitui um dos principais condicionantes que permite a visualização da área em três dimensões.

O mapa de declividade, elaborado por meio do *software ArcGIS 10.1*, foi gerado a partir do levantamento planialtimétrico georreferenciado da área (Figura 60). Nele, é possível confirmar a declividade bastante uniforme, com relevo considerado suave ondulado, ou seja, com declividade variando de 3% a 8% (EMBRAPA, 1979), no trecho do anel viário. Essa

informação revela um terreno livre de restrições em relação à topografia, possibilitando a implantação de edifícios e dispositivos de desenvolvimento de baixo impacto dentro do planejamento urbano.

Figura 59. Planta do traçado do anel viário do *Campus Samambaia*, UFG, com curvas de nível.

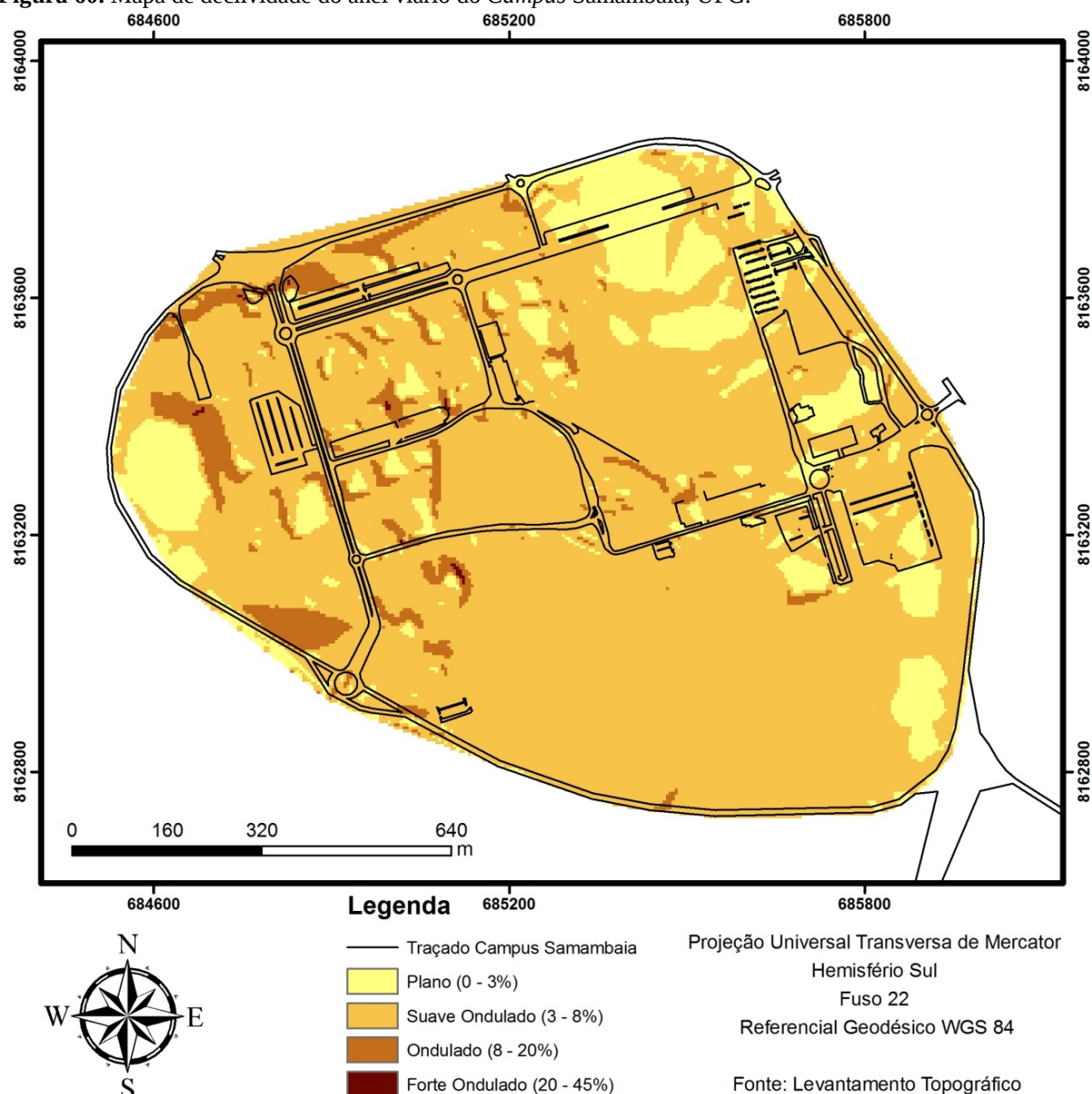


Fonte: Elaborada pela autora com base em levantamento obtido no CEGEF/UFG.

Ao se tratar de abordagem LID, além da declividade, alguns aspectos importantes que devem ser observados, entre outros, são: tipo de solo, granulometria, tipo de revestimento, precipitação local e profundidade do lençol freático no terreno. O mapa de profundidade do lençol freático apresentado na Figura 61 foi elaborado a partir de dados obtidos em laudos de sondagem realizadas em períodos variados, para subsidiar projetos de fundação das diversas obras do anel viário do *Campus Samambaia*, e aponta que o lençol freático oscila entre 4,20 m e 13,30 m de profundidade.

Em função dessa variação, é possível afirmar que a profundidade do lençol freático não impede que qualquer uma das técnicas compensatórias estudadas seja implantada na área em estudo. Dado que o poço de infiltração é o dispositivo que, em geral, demanda maior profundidade, por meio dessa análise é possível confirmar a viabilidade de sua instalação em qualquer localização da área estudada.

Figura 60. Mapa de declividade do anel viário do *Campus Samambaia*, UFG.

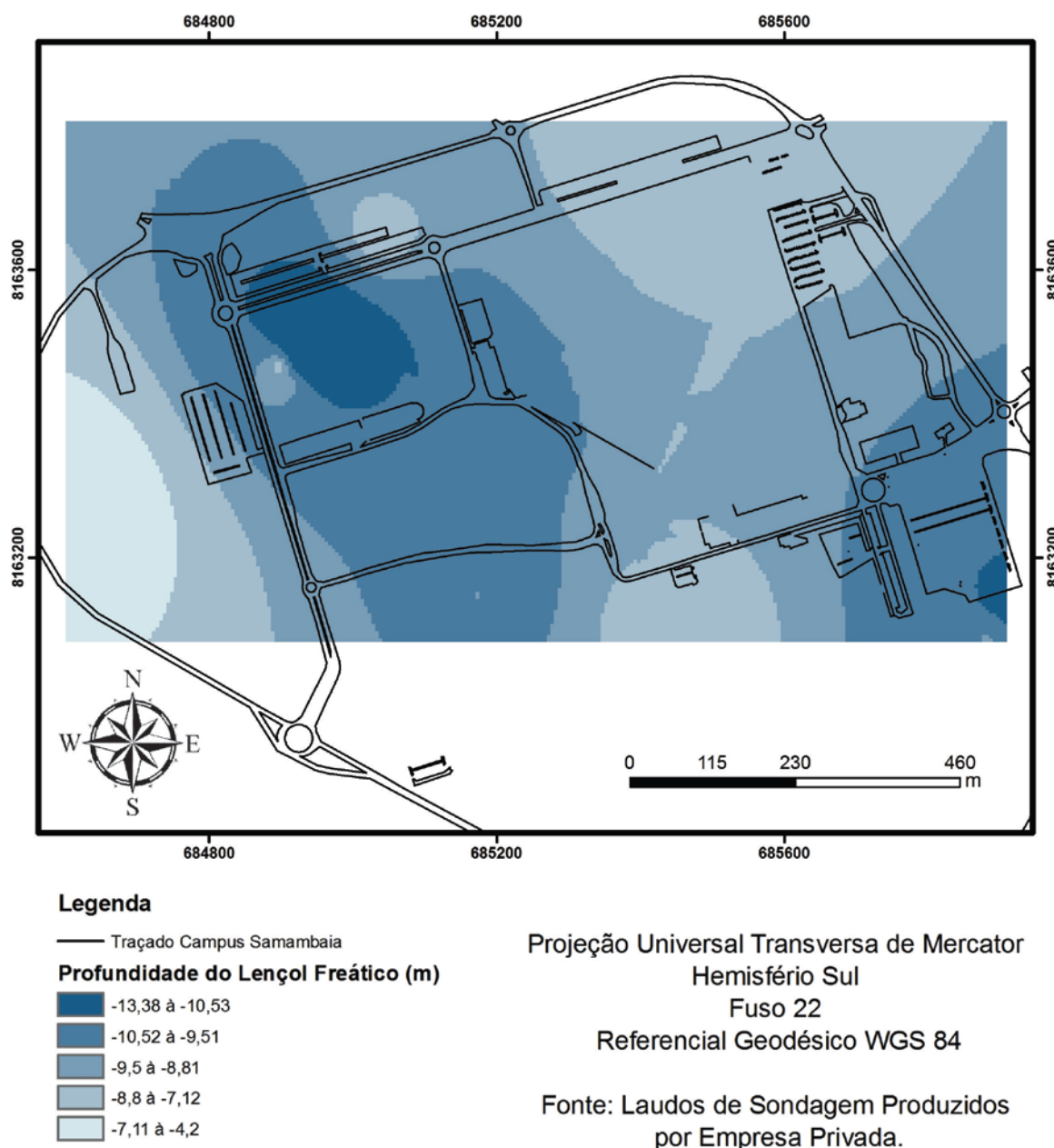


Fonte: Elaborado pela autora.

Para Goiânia, o plano diretor admite profundidade máxima de 2,60 m e distância mínima entre o fundo do poço e o lençol freático de 1,50 m, o que perfaz um total de 4,10 m, e a menor profundidade encontrada no mapa foi de 4,20 m no sentido oeste do anel viário (GOIÂNIA, 2007). Para o trecho que o mapa não apresenta informações, recomenda-se a inspeção da profundidade do lençol freático a fim de se confirmar a profundidade máxima a que os dispositivos a serem implantados podem ser posicionados. Importante destacar que, para cada local específico em que os dispositivos de infiltração forem implantados, é recomendável que sejam realizados previamente testes de infiltração e sejam verificadas todas

as limitações inerentes ao terreno, tais como o nível do lençol freático após o período chuvoso e o tipo de solo existente, assim como os demais riscos, conforme apontado anteriormente.

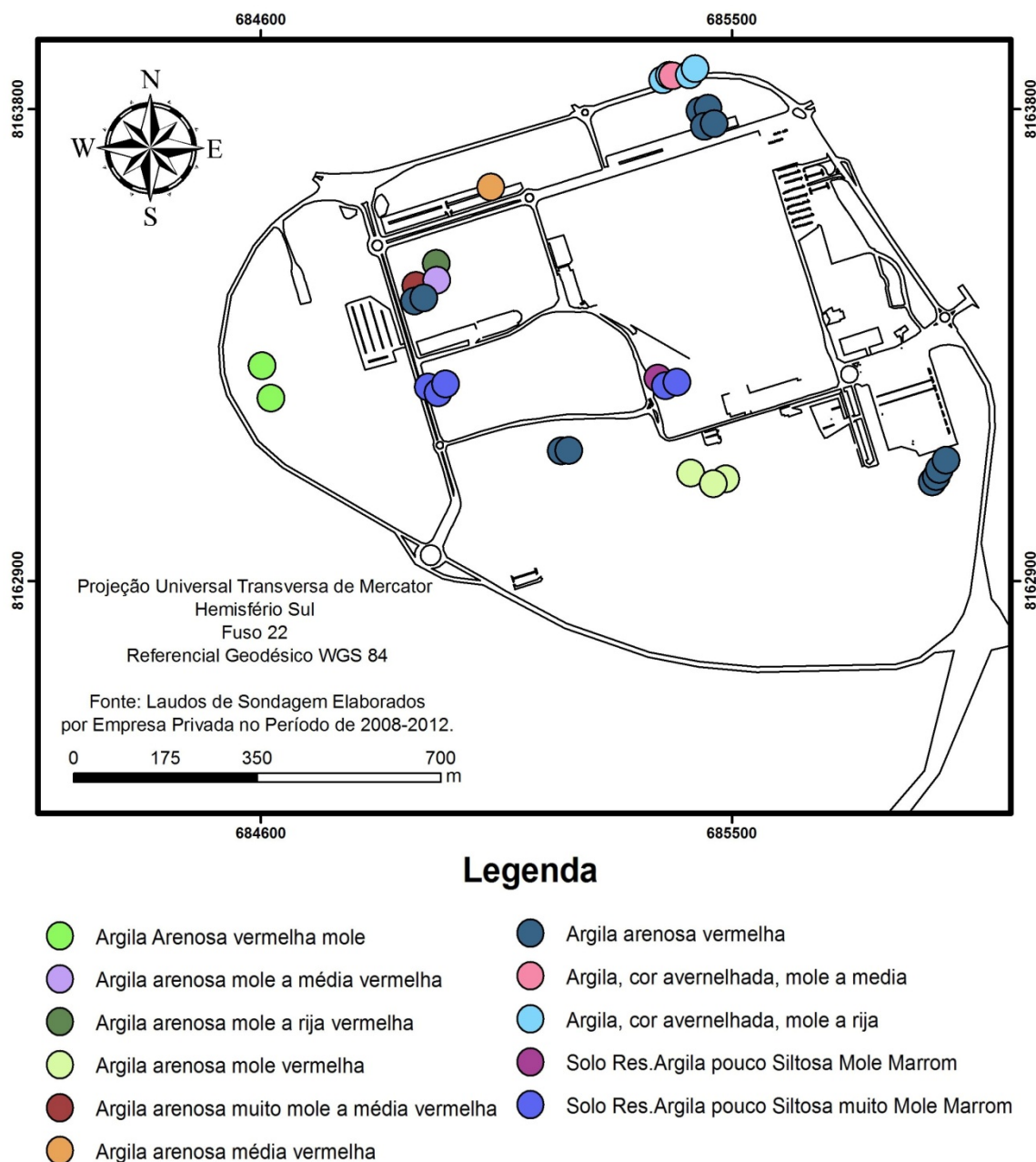
Figura 61. Mapa de profundidade do lençol freático no anel viário do *Campus Samambaia*, UFG.



Fonte: Elaborado pela autora.

Utilizando-se os mesmos laudos de sondagem citados, a caracterização do tipo de solo na área de estudo pode ser verificada na Figura 62. A identificação dos solos foi realizada à profundidade de 3,00 m, com base na limitação de 2,60 m de profundidade para poços de infiltração no município de Goiânia.

Figura 62. Mapa dos tipos de solo no anel viário do *Campus Samambaia*, UFG, a 3,00 m de profundidade.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para um diagnóstico mais preciso das características do anel viário do *Campus Samambaia*, foram realizadas diversas visitas de campo. Ao se comparar o projeto da rede de águas pluviais, obtido no CEGEF, com a situação real, diagnosticou-se que, dos 51 poços de infiltração que constavam no projeto de rede de águas pluviais, 33 não foram executados, especialmente aqueles previstos para áreas de estacionamento (Quadro 11). Em contrapartida,

foram encontrados 55 poços executados que não estavam previstos no projeto, o que leva a crer que estariam compensando em nova localização a ausência dos que não foram executados.

Quadro 11. Situação dos poços de infiltração no anel viário do *Campus Samambaia*, UFG, 2013.

Poços de infiltração		
Categoria	nº	%
A – Executado sem funcionamento	22	30
B – Executado e funcionando	39	53
C – Executado e interligado à boca de lobo, colmatado por resíduos de construção	12	16
Total de poços executados	73	100

Fonte: Elaborado pela autora com base em dados de levantamento de campo e projeto de águas pluviais.

Outra situação constatada refere-se a poços interligados por condutos diretamente às bocas de lobo, sem nenhum tipo de filtro, ou colmatados por sedimentos, particularmente resíduos das construções carreados pela água da chuva. Esses poços apresentam condições inadequadas pela ausência de limpeza e manutenção. Do total de 73 poços encontrados, 22 não estão funcionando por não estarem ligados à rede de água pluvial, ou por estarem lacrados com tampas de concreto em posição elevada em relação ao solo. Portanto, não recebem o excedente do escoamento superficial, nem tampouco as águas coletadas dos telhados dos edifícios, ou seja, não cumprem a função para a qual foram projetados.

Além dos poços de infiltração, o projeto previu e foi confirmada a presença de algumas bacias de retenção. A maior delas, localizada a oeste do anel viário, tem solucionado o problema de escoamento superficial que ocorria com maior intensidade naquela região por apresentar a maior variação na declividade (Figura 63). Foi projetada e, posteriormente, teve suas dimensões aumentadas a fim de proteger as chácaras localizadas em cotas de nível abaixo dela, com o fito de evitar transbordamentos. As localizações dos poços e bacias de retenção podem ser visualizadas no Apêndice A.

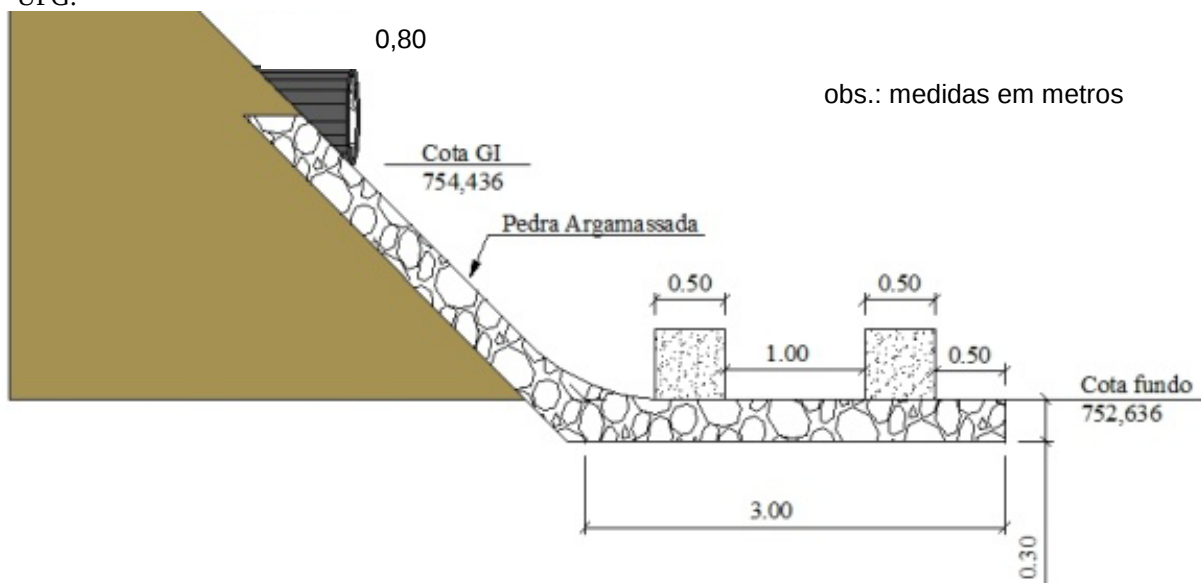
A Figura 64 ilustra o detalhe do projeto de águas pluviais objetivando o controle de erosão previsto no ponto de entrada de água na bacia de retenção. Esse detalhe foi executado em consonância com o projeto e demonstra perfeito funcionamento, o que foi confirmado pela visita realizada durante a execução deste trabalho.

Figura 63. Bacia de retenção no *Campus Samambaia*, UFG, localizada perto do Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada à Educação.



Fonte: Original da autora (novembro, 2012).

Figura 64. Detalhe do projeto para o controle de erosão na entrada da bacia de retenção no *Campus Samambaia*, UFG.



Fonte: Elaborado pela autora com base no projeto de águas pluviais do CEGEF/UFG.

Uma bacia de retenção, que faz parte do projeto de águas pluviais, está localizada no alinhamento da Faculdade de Educação Física, na cota mais baixa do anel viário do *Campus Samambaia*, no sentido oeste (Figura 65). Ao comparar o projeto e a bacia executada, foram observadas discrepâncias em suas dimensões, pois a executada é muito maior do que a projetada. Além dessas bacias, duas de menor dimensão estão localizadas no novo acesso, no

sentido norte, perto da área de manutenção. Três outras bacias de menor dimensão foram implantadas no sentido leste, perto do Centro de Cultura e Eventos. A localização desses dispositivos pode ser confirmada no Apêndice A.

Figura 65. Bacia de retenção no *Campus* Samambaia, UFG, localizada perto da Faculdade de Educação Física.



Fonte: Original da autora (outubro, 2013).

Toda essa infraestrutura implantada se propõe a minimizar o escoamento superficial, além de desafogar a rede de drenagem pluvial existente. Diante desse panorama, é provável que, se todo o sistema implantado estivesse em perfeito funcionamento, não haveria problemas de alagamento ou escoamento superficial na atualidade, como se percebe em momentos de precipitações de maior intensidade ou duração.

Em relação à ocupação máxima prevista pelo plano diretor da UFG de 40%, de acordo com o levantamento realizado, este índice já foi ultrapassado, pois na situação atual, o anel viário do *Campus* Samambaia apresenta 45,5% de área impermeável, isto é, a ocupação por edifícios, sistema viário, estacionamentos, quadras esportivas e calçadas de pedestres atingiu praticamente a metade da área disponível para ocupação. Já o plano diretor do município de Goiânia permite que se atinja o percentual máximo de ocupação do terreno de 85% (GOIÂNIA, 2007). Assim, a área permeável a ser respeitada deve ser de, no mínimo, 15% da área do terreno, com complementação por poços de infiltração da ordem de 10%. A utilização de poços de infiltração se tornou obrigatória pelo plano diretor de Goiânia a partir de sua última alteração, em 2013 (GOIÂNIA, 2013a).

Com esta caracterização definida, as orientações na utilização de LID no objeto de estudo podem ser direcionadas de forma segura, atendendo às demandas existentes, integrando as novas inserções aos elementos existentes e buscando ganhos paisagísticos na área com urbanização consolidada. Ademais, seguindo no mesmo alinhamento de ideias, as orientações podem guiar o traçado da área da expansão física, juntamente com o uso de técnicas compensatórias de modo associado e integrado ao planejamento urbano para o *Campus Samambaia*, da UFG.

5.2.2 Transformação do uso do solo entre 2003 e 2013

O início da implantação de edifícios no anel viário do *Campus Samambaia* ocorreu em 1971. Na década de 1980, enquanto as universidades brasileiras passavam por um processo de sucateamento em seu patrimônio, a UFG recebeu recursos para a construção de dois importantes edifícios: Reitoria e Biblioteca Central. Os recursos originaram-se do programa MEC BID III, um convênio do MEC com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), cuja meta inicial era consolidar a infraestrutura do *Campus Samambaia*.

Desde então até 2005, o cenário não apresentou nenhuma alteração, porquanto permaneciam os mesmos edifícios e áreas verdes permeáveis e livres, demonstrando a inexistência de expansão física, conforme mostrado na Figura 66. Em 2006, ocorreram alterações insignificantes, resumindo-se à construção de um estacionamento a leste, um laboratório a norte e um centro de documentação a sul do anel viário do *Campus Samambaia* (Figura 67). Nesse ano, o processo de expansão do Reuni estava em fase de elaboração de projetos ainda não licitados e, portanto, nenhum edifício do programa havia sido construído até então.

As imagens de 2003 e 2006 demonstram claramente um período em que o crescimento foi praticamente inexistente, se comparado ao que ocorreu no período da implementação do Reuni, mais especificamente a partir de 2008. Em 2009, a construção do edifício do Centro de Cultura e Eventos, por suas grandes dimensões e público acarretou a expansão da área de um estacionamento existente perto da área básica, além da criação de uma nova e extensa área de estacionamento no sentido sul do anel viário (Figura 68).

Figura 66. Imagem de satélite do anel viário do *Campus Samambaia*, UFG, em 2003.



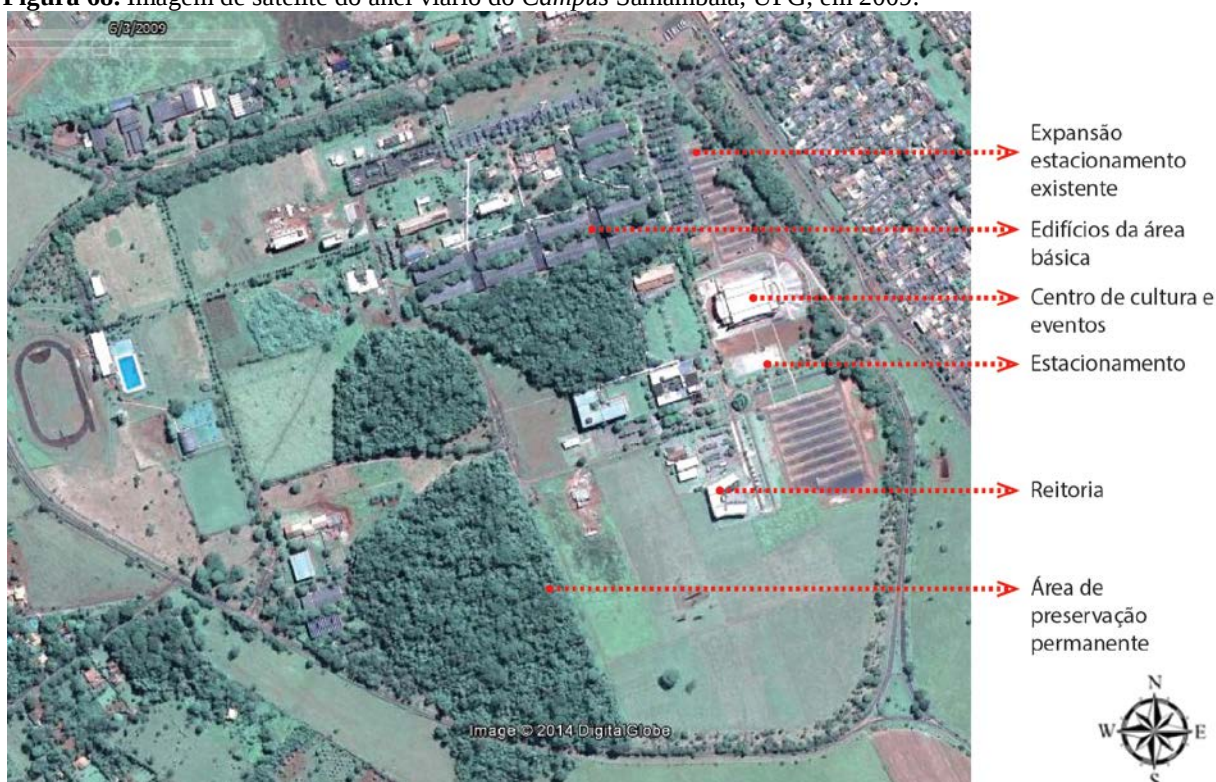
Fonte: Elaborada pela autora com base em imagem de satélite do *Google Earth*.

Figura 67. Imagem de satélite do anel viário do *Campus Samambaia*, UFG, em 2006.



Fonte: Elaborada pela autora com base em imagem de satélite do *Google Earth*.

Figura 68. Imagem de satélite do anel viário do *Campus Samambaia*, UFG, em 2009.



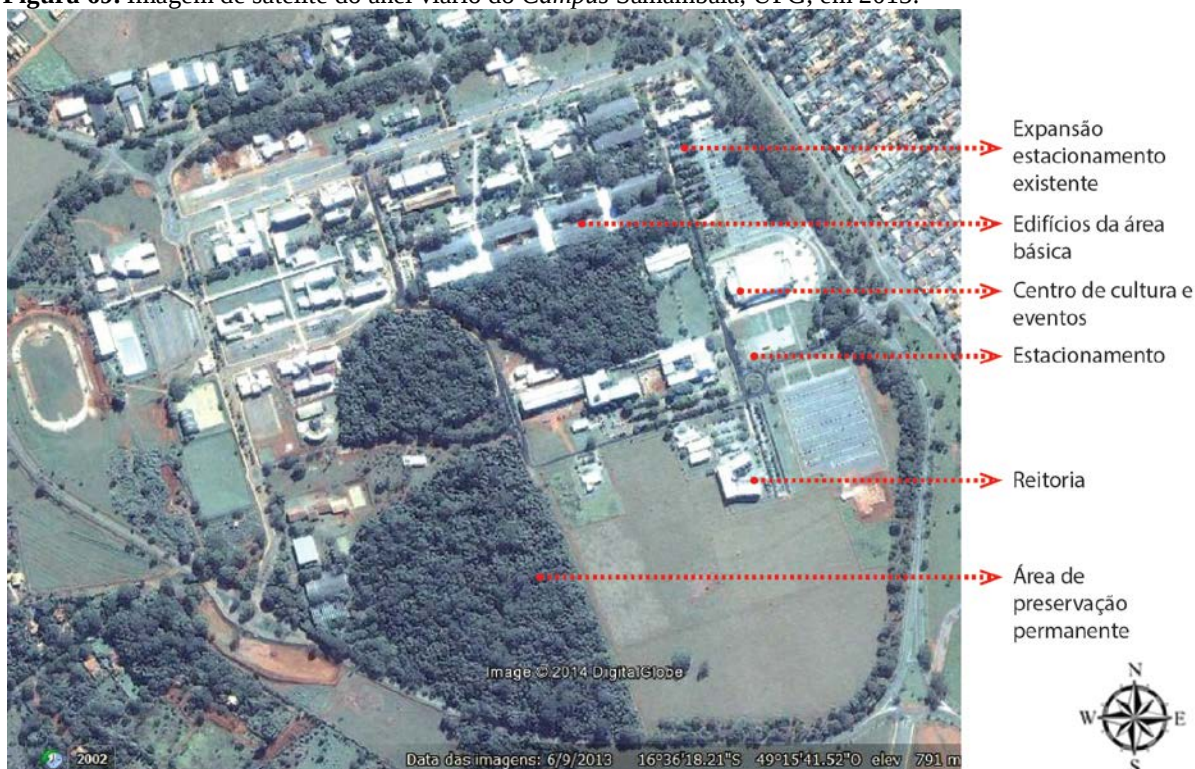
Fonte: Elaborada pela autora com base em imagem de satélite do *Google Earth*.

O edifício do Centro de Cultura e Eventos provocou impacto na paisagem, por suas grandes dimensões e pelos estacionamentos decorrentes do seu uso, o que incidiu em extensas áreas impermeáveis. Próximo a ele, foram diagnosticadas duplicação de parte do anel viário e nova conexão por meio de rotatória com o bairro Itatiaia. Essas alterações foram realizadas em virtude da necessidade de fluidez do trânsito intenso por ocasião de eventos no local. Algumas edificações, como centro de aulas e laboratórios, foram executadas na região norte, perto da área básica, além de nova área de estacionamento de veículos. Faz-se oportuno salientar que os recursos destinados à construção do Centro de Cultura e Eventos foram originados de emendas parlamentares de deputados federais e recursos próprios da UFG, ainda não sendo resultado do programa Reuni, embora sua execução tenha ocorrido simultaneamente a este.

A começar pela intervenção viária, as mudanças foram acontecendo a partir da construção de novos estacionamentos, definição de novas quadras, novas vias com maiores dimensões, duplicação de vias existentes, ajustes e ampliações nas rotatórias e conexões, bem como execução de passarelas cobertas em continuidade às existentes. A transformação do uso do solo pode ser confirmada por meio da Figura 69, porquanto em 2013 a grande maioria dos edifícios encontrava-se construída e algumas obras já estavam em fase de conclusão. Assim,

tem-se a noção exata do grande adensamento ocorrido no anel viário do *Campus Samambaia*. Tudo isso provocou mudança substancial nas características desse espaço.

Figura 69. Imagem de satélite do anel viário do *Campus Samambaia*, UFG, em 2013.

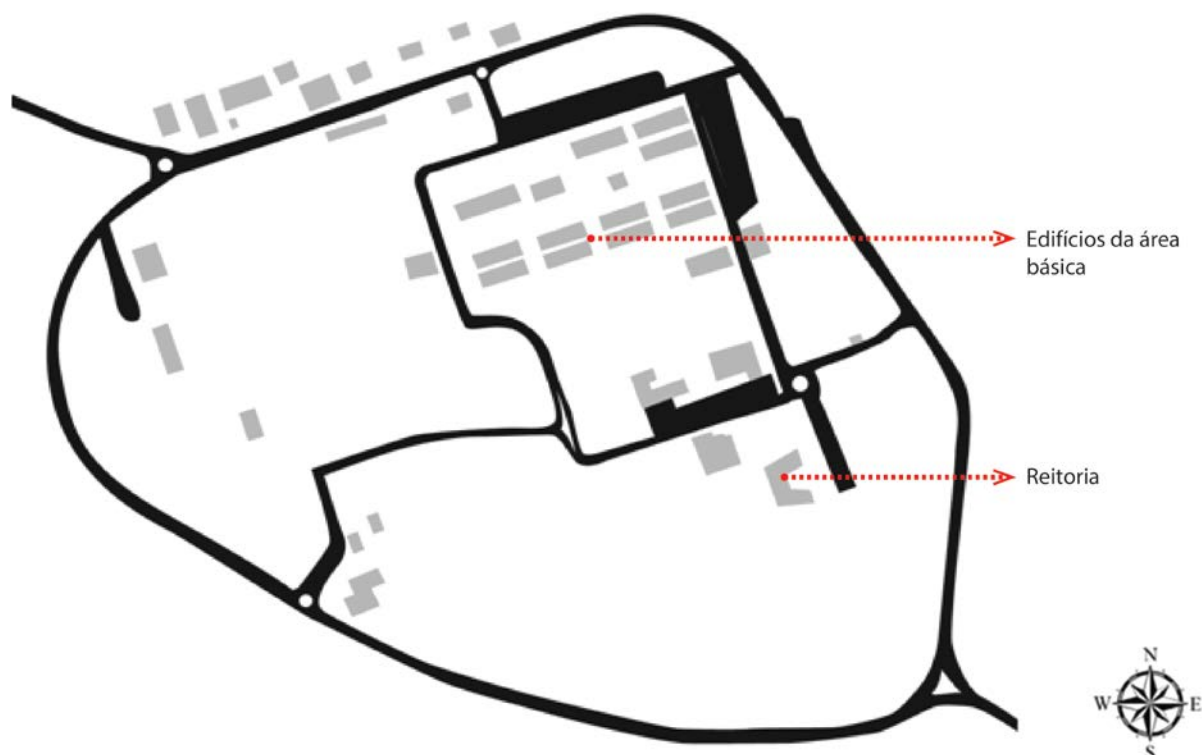


Fonte: Elaborada pela autora com base em imagem de satélite do *Google Earth*.

Como forma de elucidar as alterações ocorridas no traçado e nas edificações, apresentam-se as Figuras 70 e 71 com a síntese de levantamentos planialtimétrico e georreferenciado, realizados em 2005 e 2013, mostrando a situação inicial relativa ao adensamento existente e a situação consolidada, resultante da implantação do programa Reuni, respectivamente.

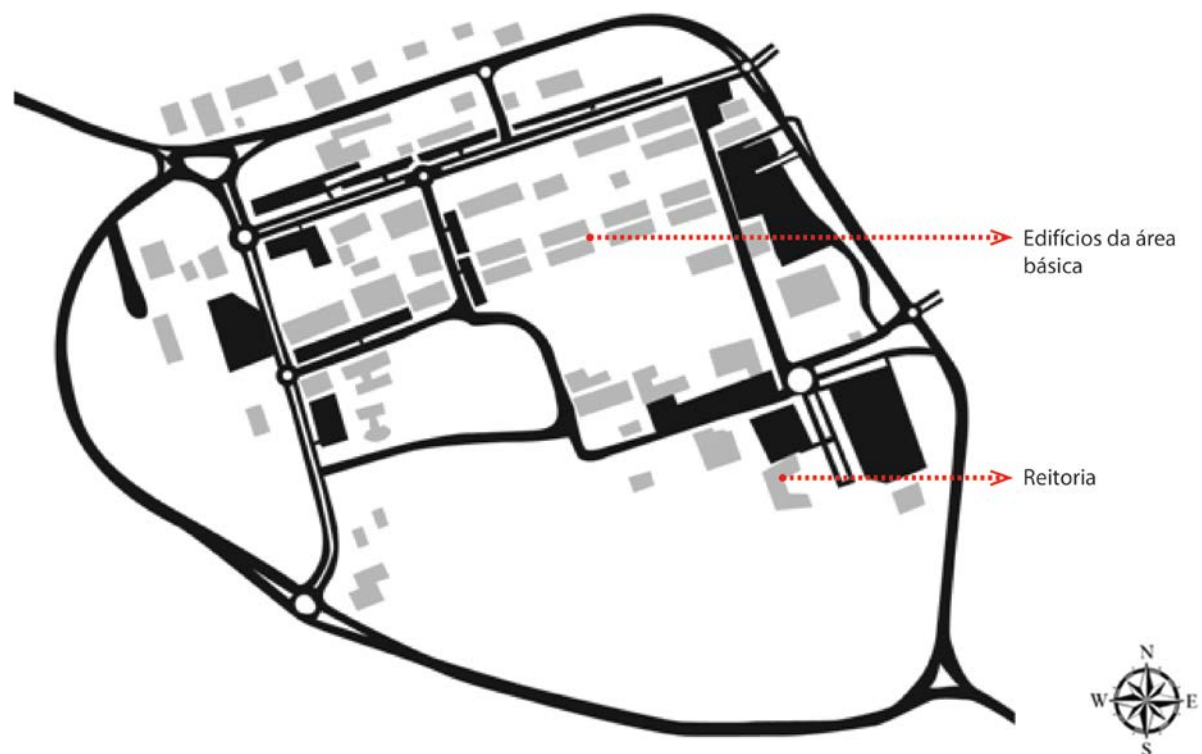
Durante o processo de estudo da transformação do uso do solo, buscou-se, por meio de geoprocessamento, fazer a sobreposição dos *shapefiles* dos traçados levantados nos dois momentos, 2005 e 2013, tratados no *software ArcGIS 10.1*, às imagens de satélite obtidas em 2006 e 2013, com o intuito de verificar se o traçado do levantamento correspondia às imagens de satélite em datas próximas (Figuras 72 e 73). O resultado foi surpreendente, pois revelou grande variação de escala entre o traçado de 2005 e a imagem de satélite de 2006, o que pode ser constatado pelo deslocamento do traçado em relação à imagem, evidenciando traçado com dimensões menores do que a realidade. Isso ocorreu em virtude de falhas de precisão na realização do levantamento disponível.

Figura 70. Planta síntese do adensamento do anel viário do *Campus Samambaia*, UFG, em 2005.



Fonte: Elaborada pela autora com base no levantamento planialtimétrico de 2005.

Figura 71. Planta síntese do adensamento do anel viário do *Campus Samambaia*, UFG, em 2013.



Fonte: Elaborada pela autora com base no levantamento georreferenciado de 2013.

Figura 72. Sobreposição do *shapefile* do traçado urbano do *Campus Samambaia*, UFG, de 2005, à imagem de satélite obtida em 2006.



Fonte: Elaborada pela autora com base em levantamento planialtimétrico de 2005 e imagem de satélite do *Google Earth*.

Figura 73. Sobreposição do *shapefile* do traçado urbano do *Campus Samambaia*, UFG, de 2013, à imagem de satélite obtida em 2013.



Fonte: Elaborada pela autora com base em levantamento georreferenciado (CEGEF/UFG) e imagem de satélite do *Google Earth*.

A despeito de todas as falhas e imprecisões existentes nesse levantamento de 2005, até 2013, quando o segundo levantamento foi realizado na área, o CEGEF utilizava, sem absoluto conhecimento do problema, o levantamento impreciso para a implantação de edifícios e a realização de todos os estudos urbanísticos para o anel viário. Conforme apresentado na Figura 73, a exata sobreposição do traçado à imagem de satélite confirmou a precisão do levantamento georreferenciado, demonstrando a importância desta ferramenta para subsidiar projetos urbanísticos, especialmente em instituições públicas, nas quais as falhas de projeto implicarão diretamente custos adicionais na execução das obras.

As Figuras 74 a 76 apresentam a situação atual do anel viário do *Campus Samambaia*, após o adensamento ocorrido, com boa parte de suas novas edificações, o sistema viário ampliado, as rotatórias nos pontos de conexão entre vias e as extensas áreas de estacionamento que foram implantadas. Também se pode observar que os trechos de mata e o cinturão verde que envolve o anel viário foram completamente preservados.

Figura 74. Vista aérea do anel viário do *Campus Samambaia*, UFG, sentido oeste.



Fonte: Regino (2015).

Figura 75. Vista aérea do anel viário do *Campus Samambaia*, UFG, sentido leste.



Fonte: Regino (2015).

Figura 76. Vista aérea do anel viário do *Campus Samambaia*, UFG, evidenciando a duplicação de vias, as rotatórias em lugar de cruzamentos e extensas áreas de estacionamento.



Fonte: Regino (2015).

Embora ainda existam muitas áreas gramadas no *Campus* Samambaia, a extensa área correspondente a estacionamentos revela alto índice de impermeabilização, em adição ao grande número de edifícios, passarelas de pedestres, incremento na largura das vias e criação de outras, em virtude da reformulação do sistema viário.

5.3 Diretrizes para o uso de LID no anel viário do *Campus* Samambaia

No presente trabalho, foram propostas diretrizes para orientar o desenvolvimento do traçado e a implantação de técnicas compensatórias não estruturais e estruturais em drenagem urbana no anel viário do *Campus* Samambaia, da UFG. Com base na revisão de literatura realizada, com o fito de minimizar problemas de escoamento superficial na fonte, os benefícios em aspectos relacionados a custo de adoção de abordagem alternativa em drenagem urbana (LID) integrada ao planejamento urbano foram confirmados. Somam-se a esses benefícios os ganhos ambientais e paisagísticos obtidos pelo uso de técnicas compensatórias. Para melhor compreender a forma como tais inserções foram propostas no ambiente urbano do *Campus* Samambaia, são apresentados neste trabalho os Apêndices B, C e D, ilustrando duas situações com o uso de técnicas compensatórias para a área do anel viário. No primeiro caso, para a situação em que se encontra a área urbanizada atualmente, com 45,5% de área impermeável. No segundo caso, planejado para atender o momento em que ocorrer a ocupação limite da impermeabilização (85%) da área de expansão do anel viário, localizada em sua parte sul, perto do edifício da reitoria. Assim, são propostas técnicas compensatórias a serem aplicadas imediatamente e planejadas concomitantemente à elaboração dos projetos urbanísticos e de arquitetura a serem aplicadas à medida que for ocorrendo a ocupação da área de expansão, dentro de um planejamento global e integrado.

5.3.1 Cenário A – 45,5% de área impermeável

Na situação de adensamento do anel viário do *Campus* Samambaia, em um cenário com índice de área impermeável de 45,5%, em 2013, foram sistematizadas as diretrizes apresentadas no Quadro 12 para a implementação de técnicas compensatórias, dentro do planejamento de LID. Para este cenário, medidas de manutenção e ajustes para os sistemas já

implantados trarão benefícios e justificarão os custos com sua implantação. Da forma como estão executados, os poços de infiltração não surtirão os efeitos necessários e deixarão comprometidas tanto a rede de drenagem quanto as águas subterrâneas, pois revelam falhas em sua concepção e execução, evidenciando um problema de gestão e fiscalização de obras na UFG.

Quadro 12. Diretrizes para uso de técnicas compensatórias com 45,5% de área impermeável no *Campus Samambaia*, UFG.

Técnicas compensatórias	Diretriz	Resultado
Não estruturais	Normatizar a abordagem integrada da gestão das águas pluviais, no planejamento e no desenvolvimento de novos projetos urbanísticos dentro da UFG, incluindo as expansões dos <i>campi</i> existentes.	▪ Ter a norma regulamentada juntamente com o Plano de Gestão e Logística Sustentável.
	Revisar o plano diretor por grupo multidisciplinar de profissionais da área (arquitetos, hidrólogos, engenheiros civis), com participação da comunidade universitária e, em geral, buscando a interface com a drenagem em sua abordagem alternativa.	▪ Obter plano diretor revisado, participativo e atualizado.
	Criar grupo de pesquisa sobre o tema dentro de programa de pós-graduação em engenharia ambiental, com verba de projeto de pesquisa para avanço científico por meio de experimentos dentro da universidade.	▪ Confirmar benefícios dos dispositivos de LID por meio de experimentos realizados na universidade nas áreas de planejamento urbano ambiental e hidrologia.
	Promover ciclo de debates em todas as unidades para educação ambiental na comunidade universitária sobre a importância dos elementos LID dentro do contexto urbano, de modo a mitigar o escoamento e melhorar o tratamento da água e o paisagismo local.	▪ Inserir palestras realizadas por pesquisadores sobre a importância do uso de LID no Brasil e as experiências de outros países ; Semana do Meio Ambiente, Dia Mundial da Água, Semana da Engenharia.
	Promover educação ambiental na comunidade, com esclarecimentos sobre a importância do LID no contexto urbano, bem como em nível de lote (residências), observando exigência do Plano Diretor de Goiânia em executar poço de infiltração (GOIÂNIA, 2013a).	▪ Apresentar palestras na Semana do Calouro para os familiares de alunos que ingressarem na UFG, com possibilidade de se estender a datas comemorativas, como o aniversário da cidade.
	Criar dispositivo legal a fim de estabelecer que os projetistas contratados pela UFG utilizem a abordagem alternativa associada à convencional em projetos de águas pluviais.	▪ Constar em edital que projetos de águas pluviais para os espaços da UFG tenham inserção de dispositivos de LID.
	Criar agenda no setor de manutenção da UFG para a manutenção de dispositivos de formas corretiva e preventiva.	▪ Fazer a manutenção periódica dos dispositivos existentes e daqueles que serão implantados.

Continua

Conclusão

Quadro 12. Diretrizes para uso de técnicas compensatórias com 45,5% de área impermeável no *Campus Samambaia*, UFG.

Técnicas compensatórias	Diretriz	Resultado
Estruturais	Prever dispositivos associados para o entorno de cada nova edificação.	▪ Construir estacionamentos com valas, trincheiras ou biovaletas associadas. ▪ Executar planos de infiltração associados a telhados desconectados. ▪ Construir poços de infiltração com previsão de filtro e tampa com grelha. ▪ Executar passeios para pedestres cobertos e descobertos com inserção de biovaletas e jardins de chuva integrados.
	Prever dispositivos associados integrados aos edifícios em projeto de arquitetura.	▪ Executar telhados verdes em novos edifícios ou expansões dos edifícios existentes. ▪ Substituir telhados existentes, quando possível, para adoção de telhados verdes. ▪ Construir pátios com pavimento permeável e biorretenção: jardins de chuva e poços de infiltração. ▪ Executar paisagismo com vegetação nativa. ▪ Prever os custos dos dispositivos no orçamento global do projeto, sem necessidade de aditivos.
	Reprogramar bacia de detenção existente para espaço multifuncional.	▪ Adequar bacia de detenção para a prática esportiva e eventos: pista de skate e quadra esportiva com arquibancada.

Fonte: Original da autora.

Para este caso, são recomendadas ações imediatas de manutenção, como limpeza, projeto corretivo para os poços de infiltração existentes e sua reconstrução em algumas situações, aproveitando-se material como tubos em concreto perfurados e tampas em concreto, prevendo-se os filtros necessários, em virtude da necessidade da filtração da água de escoamento, além da conexão de alguns à rede de drenagem.

5.3.2 Cenário B – 85% de área impermeável

Em um cenário de área impermeável atingindo seu limite, ou seja, no teto máximo de 85% permitido pelo Plano Diretor de Goiânia (GOIÂNIA, 2013a), foram sistematizadas diretrizes especificamente para a área de expansão do anel viário do *Campus Samambaia*. Mesmo não sendo possível estabelecer um horizonte de tempo para definir quando se dará esse adensamento, o planejamento deve dar conta de antecipar soluções ao prever problemas resultantes do adensamento, como o aumento do volume do escoamento superficial e alagamentos que possam ocorrer nessa área, além de evitar que ocorram problemas a jusante pensando em nível de bacia hidrográfica. Para isso, diretrizes que orientem o uso de técnicas compensatórias são recomendadas (Quadro 13).

As medidas adotadas para o planejamento urbano devem fomentar um conjunto de normativas e ações voltadas para a viabilidade da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana especificamente para *campi* universitários. Dessa forma, será possível implementar e manter esses dispositivos de maneira que cumpram seu papel na gestão das águas pluviais e na mitigação do escoamento superficial, da poluição difusa presente na atmosfera e em áreas de estacionamento e sistema viário, assim como no manejo dos resíduos sólidos presentes em meio urbano.

Para orientar a implantação de técnicas compensatórias no anel viário, considerando os dois cenários estudados, são apresentados os Apêndices B, C e D. No Apêndice B, é apresentada a ilustração do anel viário do *Campus Samambaia* com cenário de impermeabilização de 45,5%, aproveitando elementos de LID existentes, como valas, poços de infiltração e bacias de retenção. A esses dispositivos somam-se outras técnicas compensatórias, complementando a função de mitigação do escoamento superficial na fonte em que se originam. São elas: trincheiras e biovaletas inseridas ao longo das passarelas de pedestres, jardins de chuva em pontos de depressão da topografia e desconexão de telhados com associação de poços e planos de infiltração. Também foi orientado o ajuste a ser realizado em uma das maiores bacias de retenção existentes, adaptando-a para uso como espaço multifuncional, como pista de *skate*, patinação e utilização para eventos em épocas de seca.

Quadro 13. Diretrizes para uso de técnicas compensatórias com 85% de área impermeável no *Campus Samambaia*, UFG.

Técnicas compensatórias	Diretriz	Resultado
Não estruturais	Revisar e atualizar constantemente o plano diretor utilizando grupo multidisciplinar de profissionais da área (arquitetos, hidrólogos engenheiros civis), com intervalo de 5 anos e não de 10 anos como preconiza o Estatuto da Cidade por conta das alterações físicas de modo dinâmico que têm ocorrido em <i>campi</i> universitários (BRASIL, 2001).	▪ Obter plano diretor revisado, participativo e atualizado.
	Normatizar o atendimento à obrigatoriedade de instalação de poço de infiltração para cada edificação, exigência prevista no Plano Diretor de Drenagem Urbana de Goiânia (GOIÂNIA, 2013b) e no Plano Diretor de Goiânia revisado (GOIÂNIA, 2013a).	▪ Criar detalhe padrão para poço de infiltração a ser seguido pelas empresas contratadas, com memorial de cálculo de dimensionamento orientando cada caso em função do tipo de solo e profundidade do lençol freático.
	Promover ciclo de debates em todas as unidades para educação ambiental na comunidade universitária sobre a importância dos elementos LID dentro do contexto urbano, de modo a mitigar o escoamento e melhorar o tratamento da água e o paisagismo local.	▪ Inserir palestras realizadas por pesquisadores sobre a importância do uso de LID no Brasil e as experiências de outros países; Semana do Meio Ambiente, Dia Mundial da Água, Semana da Engenharia.
	Promover educação ambiental na comunidade, com esclarecimentos sobre a importância do LID no contexto urbano, bem como em nível de lote (residências), observando exigência do Plano Diretor de Goiânia em executar poço de infiltração (GOIÂNIA, 2013a).	▪ Instalar placas educativas indicando os dispositivos implantados com sua função. ▪ Apresentar palestras na Semana do Calouro para os familiares de alunos que ingressarem na UFG, com possibilidade de se estender a datas comemorativas, como o aniversário da cidade.
	Criar dispositivo legal a fim de estabelecer que as empresas de projeto contratadas pela UFG adotem a abordagem alternativa associada à convencional em projetos de águas pluviais.	▪ Constar em edital que projetos de águas pluviais para os espaços da UFG tenham inserção de dispositivos de LID.

Continua

Conclusão

Quadro 13. Diretrizes para uso de técnicas compensatórias com 85% de área impermeável no *Campus Samambaia*, UFG.

Técnicas compensatórias	Diretriz	Resultado
Estruturais	Prever dispositivos associados para o ambiente urbano que envolve as edificações.	▪ Construir estacionamentos com pavimentos permeáveis e filtros gramados, valas e trincheiras associadas. ▪ Executar planos e poços de infiltração associados a telhados desconectados. ▪ Executar passeios para pedestres com inserção de biovaletas e jardins de chuva associados.
	Prever dispositivos associados integrados aos edifícios em projeto de arquitetura.	▪ Implantar as edificações respeitando a topografia, evitando-se grandes movimentos de terra. ▪ Definir o percentual de edifícios com telhado verde, a ser indicado no plano diretor, mediante análise de custo de implantação e manutenção. ▪ Na existência de pátios, usar preferencialmente pavimento permeável e biorretenção, como jardins de chuva e poços de infiltração.
	Prever abordagem alternativa (LID) em projeto de paisagismo em nível urbano.	▪ Elaborar projeto de paisagismo para o ambiente urbano visando sempre a infiltração das águas pluviais. ▪ Adotar paisagismo com vegetação nativa para estacionamentos. ▪ Prever áreas gramadas para filtração inicial natural de águas do escoamento superficial e planos de infiltração.

Fonte: Original da autora.

Nos Apêndices C e D, é apresentado o cenário de 85% de área impermeável, no trecho do anel viário que corresponde à sua área de expansão, localizada ao sul. Para este

cenário, a aplicação do conceito LID se iniciou com a adoção do traçado, evitando-se a adoção de traçado em grelha, buscando acompanhar as curvas de nível e inserindo o *cul-de-sac* como forma de eliminar vias desnecessárias, visando a diminuição de áreas impermeáveis no sistema viário, conforme estudado. Alguns estacionamentos necessários foram implantados, porém, com a utilização de pavimento permeável. Buscou-se a associação de técnicas compensatórias com a intenção de melhorar sua eficácia, como a união de jardim de chuva, poço de infiltração, pavimento permeável e trincheiras e valas de infiltração nos espaços de convivência entre as edificações. Foi incentivado o uso de vegetação nativa nas áreas que deverão passar por implementação de paisagismo, como o estacionamento. Por último, foi orientada a inserção de duas novas bacias de retenção a fim de evitar problemas com escoamento excedente, no sentido sul, em sua porção de declividade mais baixa.

É importante observar que as orientações contidas nas implantações dessas técnicas compensatórias não eliminam o uso da rede convencional de drenagem de águas pluviais. Seu uso potencializa sua eficiência, reduzindo o custo com a implantação da tubulação da rede artificial de drenagem, uma vez que as técnicas compensatórias estejam integradas ao projeto de águas pluviais urbanas e presentes desde o planejamento inicial. Assim, foi possível experimentar a inserção dessas técnicas no ambiente de um *campus* universitário. Notável verificar como essa inserção pode ocorrer de modo integrado simultaneamente com o traçado, os elementos do paisagismo e as edificações, criando espaços mais salubres e agradáveis, envolvendo o planejamento urbano de modo ambientalmente favorável. Tais recomendações visam servir de referência para as ações tanto de expansão física da UFG quanto para estudos e aplicações semelhantes.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Encontrar uma abordagem eficaz para reduzir o escoamento superficial e melhorar a qualidade das águas pluviais urbanas é uma tarefa difícil para todas as cidades do país. Garantir a segurança e a preservação da vida de pessoas em situações de risco por alagamentos tem sido um assunto recorrente. Elevar a qualidade geral da vida para a população urbana é também um grande desafio.

Neste trabalho, foi demonstrado que as cidades, bem como as IFES nelas inseridas, estão desenvolvendo um histórico de tentativas para implantar medidas em que se destacam os elementos de planejamento e gestão do uso do solo, por meio de plano diretor urbano, infraestrutura viária, saneamento, energia, comunicação, transporte e gestão socioambiental, que visam garantir desenvolvimento sustentável. Também foram destacadas as dificuldades enfrentadas pelos gestores nas diversas esferas para a elaboração de planos diretores viáveis do ponto de vista ambiental, com interface no tratamento da drenagem urbana, especialmente por se tratar de uma ação de alta complexidade em que diversos aspectos interagem entre si, tais como os ambientais, sanitários, paisagísticos e técnicos.

Vale lembrar que o ambiente urbano sofre influência de cidades a montante, ao mesmo tempo em que causa influência a jusante nas cidades ou áreas rurais ali localizadas. Assim, os recursos ambientais a serem considerados no planejamento ultrapassam o limite da cidade, integrando uma bacia hidrográfica ou região mais ampla. Evidentemente, o desenvolvimento de baixo impacto, quando integrado ao planejamento inicial, é uma abordagem econômica e ambientalmente viável para a gestão da água e proteção dos recursos naturais em ambientes urbanos.

No presente trabalho, argumentou-se que, dentro dessa abordagem, as técnicas compensatórias apresentam benefícios adicionais, que não são frequentemente destacados ou discutidos, não somente possibilitando melhorar a qualidade das águas pluviais, complementando os sistemas clássicos de drenagem e recarregando as águas subterrâneas, mas também melhorando a qualidade do ar, reduzindo custos de energia em edifícios e contribuindo para a recuperação do clima e dos recursos hídricos.

Somam-se a esses benefícios a minimização dos custos de infraestrutura de drenagem, reduzindo as dimensões dos tubos e potencialmente substituindo outros sistemas reticulados de água de grande escala por soluções locais, em menor escala. Para além disso,

importa destacar o ganho ecológico e paisagístico, uma vez que a proposta sempre será de se retornar às condições originais do ambiente, anteriores à urbanização, utilizando-se elementos naturais, especialmente a vegetação. Assim, espera-se que o aparato legal existente seja sempre atualizado com vistas a um melhor desempenho das cidades e procurando uma abordagem sistêmica, quando todos os aspectos dialogam entre si de forma a não ocorrer discrepâncias entre as orientações.

Com essas considerações em mente, é essencial para os sistemas jurídicos, quer dos municípios ou das IFES, a remoção de barreiras para a implementação dessa abordagem, para que os reguladores e fiscalizadores promovam sua aceitação. Dessa forma, os gestores públicos e decisores políticos deverão levar em consideração sua incorporação em projeto e planejamento urbano, particularmente em comunidades com comprometimento por poluição urbana e alagamentos. Para *campi* universitários, bem como para as cidades, tais questões relativas à abordagem alternativa das águas pluviais urbanas necessitam estar presentes no planejamento global, preferencialmente no momento da elaboração do plano diretor e suas revisões e da concepção do projeto urbanístico, portanto, de modo simultâneo e integrado.

Na expansão do *Campus* Samambaia, da UFG, o fato de existir um plano diretor foi positivo. Ainda que defasado, algumas de suas determinações foram respeitadas, a exemplo da preservação da vegetação nativa, embora o índice de área impermeável previsto tenha sido extrapolado. Ademais, o plano diretor paisagístico que foi elaborado durante a implantação do Reuni, a despeito da urgência e da impossibilidade de se obter um planejamento integrado, foi de extrema importância na orientação da ocupação pelos edifícios nos espaços a eles destinados. Embora sua infraestrutura de drenagem urbana tenha sido tratada em abordagem convencional, algumas técnicas compensatórias foram previstas, tais como poços de infiltração, valas e bacias de retenção que, mesmo apresentando falhas em sua execução, como os poços, têm contribuído para a redução do escoamento superficial.

A partir de ações administrativas, em seus aspectos técnicos e de gestão, a comunidade, seja ela universitária ou municipal, deve receber as orientações e informações sobre os benefícios em se adotar medidas compensatórias. Isso é importante porque, a partir da conscientização, pode existir uma contribuição direta dos cidadãos, envolvendo o cuidado com a destinação dos resíduos sólidos, o uso racional da água e a preservação dos dispositivos, no que couber, evitando depredações ou incoerências no uso dos sistemas implantados.

Os resultados dessa associação de dispositivos de filtração e infiltração, detenção, conforme estudados e propostos, serão altamente benéficos ao meio natural, além dos ganhos paisagísticos e da qualidade da água. O interessante nesses resultados é que essas contribuições e benefícios seguramente se estenderão para além dos limites dos *campi* universitários, chegando às cidades nas quais esses equipamentos estão inseridos. Como discutido anteriormente, as cidades sofrem e causam influência nos *campi*, positiva ou negativa, a depender da forma como estes espaços são administrados e mantidos, também ocorrendo a sua interação com as cidades.

O usuário de um *campus* universitário, via de regra, é um indivíduo altamente crítico e pode se tornar um agente transformador na sociedade. Ao ser implementada em ambiente universitário, uma ação dessa natureza é capaz de cumprir papel altamente educativo e ecologicamente viável do ponto de vista da sociedade.

Embora muitas pesquisas a respeito deste tema tenham sido realizadas, é notável a necessidade de obter melhores informações com relação à remoção de poluentes das águas urbanas com o uso de técnicas compensatórias, evitando-se contaminação de lençol freático e mananciais. No que se refere à aplicabilidade mediante critérios de escolha, existem dúvidas que ainda permeiam o assunto, demandando pesquisas mais aprofundadas. Além disso, os sistemas de operação e manutenção destes dispositivos, não abordados neste estudo, podem ser objeto de estudos futuros. Dadas as tensões crescentes em centros urbanos e nos espaços de *campi* universitários existentes e ali integrados, conclui-se que medidas proativas para tornar a vida urbana mais saudável e sustentável tendem a render muitos benefícios no futuro, especialmente em relação à qualidade de vida da população e à manutenção do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

AMOB. AGÊNCIA MUNICIPAL DE OBRAS. *Diretrizes básicas de elaboração de projetos de pavimentação urbana*. Goiânia, 2010.

ANGELINI SOBRINHA, L. *Monitoramento e modelagem de um poço de infiltração de águas pluviais construído em escala real e com filtro na tampa*. 2012. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)–Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

BAPTISTA, L. F. S. *Aspectos ambientais, sanitários, hidrológicos e urbanísticos na concepção e aplicação do LID (Low Impact Development) em microbacia da UFSCAR*. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)–Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

BAPTISTA, L. F. S.; GONÇALVES, L. M.; BARBASSA, A. P.; FELIPE, M. C.; TECEDOR, N. Parâmetros urbanísticos contemporâneos na aplicação e concepção do LID (Low Impact Development). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. *Anais...* Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013. v. 1. p. 1–8.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2011.

BARROS, A. M. F. B.; CARVALHO, C. S.; MONTANDON, D. T. O Estatuto da Cidade comentado (Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001). In: CARVALHO, C. S.; ROSSBACH, A. (Org.). *O Estatuto da Cidade: comentado*. São Paulo: Ministério das Cidades, Aliança das Cidades, 2010. p. 91–118.

BENEVOLO, L. *A cidade e o arquiteto: método e história na arquitetura*. São Paulo: Perspectiva, 2006.

BORDIGNON, L.; MOREIRA, D.; CHUPEL, T. F.; BRAZÃO, C. M. S. C. Ilhas vegetacionais no Pantanal Matogrossense: um teste da Teoria de Biogeografia de Ilhas. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 387–389, 2007.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, p. 1, 5 out. 1988.

BRASIL. Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964. Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, Suplemento, p. 49, 30 nov. 1964.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, p. 9529, 16 set. 1965.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, p. 19457, 20 dez. 1979.

BRASIL. Lei nº 9.785, de 29 de janeiro de 1999. Altera o Decreto-Lei no 3.365, de 21 de junho de 1941 (desapropriação por utilidade pública) e as Leis nos 6.015, de 31 de dezembro de 1973 (registros públicos) e 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (parcelamento do solo urbano). *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, p. 5, 1º fev. 1999.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, p. 1, 17 jul. 2001.

BRASIL. Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 abr. 2005.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, p. 3, 8 jan. 2007a.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, p. 1, 28 maio 2012a.

BRASIL. Ministério da Educação. *Análise sobre a expansão das universidades federais 2003 a 2012*. Relatório da comissão constituída pela Portaria nº 126/2012. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2012b.

BRASIL. Ministério da Educação. *Relatório de gestão do exercício de 2010*. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2011.

BRASIL. Ministério da Educação. *Reuni: Reestruturação e expansão das universidades federais*. Diretrizes Gerais. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2007b.

BRASIL. Ministério das Cidades. *Sistemática 2012*. Manual para apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais. Programa – 2040: Gestão de riscos e resposta a desastres. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2012c. Disponível em:

<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/Manual_de_Drenagem_2012.pdf>. Acesso em: 14 maio 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrumentos de planejamento. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-urbano/instrumentos-de-planejamento>>. Acesso em: 2 maio 2014.

BRITO, J. S.; AQUINO, M. D.; SALES, J. W. F. Novo plano diretor de Fortaleza e a drenagem sustentável. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., Campo Grande, 2009. *Anais...* Viamão: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009.

BUESKING, N. *EPA Announces winners of the 2013 Campus RainWorks Challenge*. [S.l.: Blog Land 8, Internet], 6 ago. 2014. Disponível em: <<http://land8.com/profiles/blogs/epa-announces-winners-of-the-2013-campus-rainworks-challenge>>. Acesso em: 17 maio 2014.

BUTLER, D.; DAVIES, J. W. *Urban drainage*. 3. ed. Abingdon: Spon Press, 2011.

CALDERARI, E. S.; OLIVEIRA, L. M.; BRANDÃO JUNIOR, P. S.; HAYASHIDA, G. T. O planejamento da paisagem como princípio de projeto urbano sustentável para campus universitários - Campus Glória/UFU. *Revista LABVERDE*, São Paulo, n. 7, art. 8, p. 169–192, 2013.

CAMPUS da Universidade Federal de Viçosa. Rotterdam: SkyscraperCity, 2014. Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=593374>>. Acesso em: 19 abr. 2014.

CAPUTO, U. K. *Avaliação do potencial de utilização de trincheiras de infiltração em espaços com urbanização consolidada: estudo de caso do município de Belo Horizonte, MG*. 2012. 147 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)–Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CARROT CITY DESIGNING FOR URBAN AGRICULTURE. *Rooftop gardens at Fairmont Hotels*. [S.l.]: Carrot City, 2014.

CARVALHO, E. T. L. *Avaliação geotécnica de poços de infiltração de águas pluviais*. 2013. 284 f. Tese (Doutorado em Geotecnia)–Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

CASTELLO, I. R. *Bairros, loteamentos e condomínios: elementos para o projeto de novos territórios habitacionais*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008.

CITY OF EDMONTON. *Low impact development – best management practices design guide*. Edition 1.0. Edmonton: City of Edmonton, 2011. Disponível em: <<http://www.edmonton.ca/environmental/documents/PDF/LIDGuide.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

CLARY, J.; QUIGLEY, M.; PORESKY, A.; EARLES, A.; STRECKER, E.; LEISENRING, M.; JONES, J. Integration of low-impact development into the international stormwater BMP database. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 137, no. special, p. 190–198, 2011.

CLEPS JUNIOR, J. Territorialização do capital no campo: a atualidade das lutas sociais e os impasses da reforma agrária no Brasil. *Revista Faz Ciência*, Cascavel, v. 12, n. 15, p. 55–72, 2010.

CORSINI, R.; CASTAGNA, G. Biovaletas. *Infraestrutura Urbana*, São Paulo, edição 33, dez. 2013.

COSTA, J.; COSTA, A.; POLETO, C. Telhado verde: redução e retardo do escoamento superficial. *REA – Revista de Estudos Ambientais*, Blumenau, v. 14, n. 2 esp, p. 50–56, 2012.

DAMODARAM, C.; ZECHMAN, E. M. Simulation-optimization approach to design low impact development for managing peak flow alterations in urbanizing watersheds. *Journal of Water Resources Planning and Management*, New York, v. 139, no. 3, p. 290–298, 2013.

DANIEL JÚNIOR, J. J. *Avaliação de uma biorretenção como estrutura sustentável de drenagem urbana*. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

DZIURA, G. L. *Permeabilidade espacial e zelo urbanístico no projeto arquitetônico: da modernidade à pós-modernidade nos edifícios multifuncionais do eixo estrutural sul de Curitiba, 1966-2008*. 2009. 465 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)–Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Reunião Técnica de Levantamento de Solos, 10. *Súmula*. Rio de Janeiro: SNLCS, 1979.

EPA. United States Environmental Protection Agency. *Case studies analyzing the economic benefits of low impact development and green infrastructure programs*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2013.

EPA. United States Environmental Protection Agency. *Reducing stormwater costs through low impact development (LID) strategies and practices*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2007.

ERSSON, O. *Rainwater harvesting and purification system*. [S.l.: s.n.], 14 nov. 2014. Disponível em: <<http://www.rwh.in/>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

ESTEVES, J. C.; FALCOSKI, L. A. N. Planejamento, projeto e gestão ambiental do espaço universitário. In: CONGRESO DE MEDIO AMBIENTE DE LA AUGM, 7., 2012, La Plata. *Actas...* Montevideo: Asociación de Universidades Grupo Montevideo, 2012.

EXPANSÃO com inclusão. *Afirmativa*, Goiânia, edição especial, p. 9, jan. 2010. Disponível em: <http://www.ufg.br/up/1/o/Revista_Afirmativa_5.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2014.

FERREIRA, F.; MATOS, J. S. Qualidade de águas pluviais na zona baixa de Alcântara, em Lisboa. *Recursos Hídricos*, Lisboa, v. 33, n. 2, p. 59–72, 2012.

FLETCHER, T. D.; WALSH, C. J.; BOS, D.; NEMES, V.; ROSSRAKESH, S.; PROSSER, T.; HATT, B.; BIRCH, R. Restoration of stormwater retention capacity at the allotment-scale through a novel economic instrument. *Water Science & Technology*, Oxford, v. 64, no. 2, p. 494–502, 2011.

FONTES, A. R. M.; BARBASSA, A. P. Metodologia para o levantamento de tendências de transformação e crescimento urbano com vistas ao planejamento de sistema de drenagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., Belo Horizonte, 1999. *Sumários...* Viamão: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1999.

FOTOGRAFIA aérea do campus São Carlos. [S.l.: s.n.], 29 set. 2007. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Universidade_Federal_de_S%C3%A3o_Carlos#mediaviewer/Fi%20le:Foto_aerea_UFSCar.jpg>. Acesso em: 3 maio 2014.

GAION, P. P. *Diretrizes de planejamento e projeto urbano sustentável de campi universitários: o caso da UFSCar*. 2013. 251 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)–Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, 2014.

GOIÂNIA. Agência Municipal do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 30, de 5 de setembro de 2008. Institui o Plano Diretor de Arborização Urbana de Goiânia. *Diário Oficial do Município de Goiânia*, Goiânia, n. 4.461, p. 2–10, 30 set. 2008a.

GOIÂNIA. Lei Complementar nº 171, de 29 de maio de 2007. Dispõe sobre o Plano Diretor e o processo de planejamento urbano do Município de Goiânia e dá outras providências. *Diário Oficial do Município de Goiânia*, Goiânia, n. 4.147, p. 1–103, 26 jun. 2007.

GOIÂNIA. Lei Complementar nº 177, de 9 de janeiro de 2008. Dispõe sobre o Código de Obras e Edificações do Município de Goiânia e dá outras providências. *Diário Oficial do Município de Goiânia*, Goiânia, n. 4.285, p. 1–38, 16 jan. 2008b.

GOIÂNIA. Lei Complementar nº 246, de 29 de abril de 2013. Altera a Lei Complementar nº 171, de 29 de maio de 2007, que Dispõe sobre o Plano Diretor e processo de planejamento urbano do Município de Goiânia e dá outras providências. *Diário Oficial do Município de Goiânia*, Goiânia, n. 5.582, p. 1–45, 30 abr. 2013a.

GOIÂNIA. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano Sustentável. Ata da Reunião Ordinária do dia 26 de setembro de 2013. Projeto de Lei. Regulamenta o art. 128 da Lei Complementar nº 171, de 29 de maio de 2007, estabelece regras de Controle de Águas Pluviais e Drenagem Urbana e dá outras providências. *Diário Oficial do Município de Goiânia*, Goiânia, n. 4.147, p. 1–103, 26 set. 2013b.

GOLDSTEIN, A. *Permeable pavement*. [S.l.: s.n.], 27 out. 2014a. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/usepagov/15456488240/in/set-72157648579274857>>. Acesso em: 17 mar. 2014.

GOLDSTEIN, A. *Rain garden*. [S.l.: s.n.], 27 out. 2014b. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/usepagov/15455930908/in/set-72157648579274857/>>. Acesso em: 17 mar. 2014.

GOLDSTEIN, A. *Tucson*. [S.l.: s.n.], 27 out. 2014c. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/usepagov/15455930878/in/set-72157648579274857>>. Acesso em: 17 mar. 2014.

GONÇALVES, L. M. Drenaje sostenible: infiltración de aguas pluviales - la experiencia del campus Ufscar/Brazil. In: WORKSHOP PLUVISOST, 2., 2013, Barcelona. *Workshop Aguas Pluviales*. Barcelona: SosteniPrA, Universitat Autònoma de Barcelona, 2013.

GOUVÊA, L. A. *Cidadevida: curso de desenho ambiental urbano*. São Paulo: Nobel, 2008.

GRAEFF, E. A. *1983 – Goiânia, 50 anos*. Brasília: MEC-SESU; Goiânia, CEGRAF, 1985.

GROZDANIC, L. *Denmark's Rabalder Park can store 10 swimming pools worth of floodwater*. El Segundo: Inhabitat [Website], 14 jun. 2013. Disponível em: <<http://inhabitat.com/denmarks-rabalder-park-can-contain-10-swimming-pools-worth-of-floodwater/rabalder-parken-2/?extend=1>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

HENRIQUE, W. Dinâmicas urbanas e regionais em cidades médias após a instalação de universidades públicas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DA RED DE INVESTIGADORES IBEROAMERICANOS (RII), 7., 2012, Belo Horizonte. *Anais...* [S.l.]: Red de Investigadores Iberoamericanos, 2012.

HINMAN, C.; WULKAN, B. *Low impact development: technical guidance manual for Puget Sound*. Puyallup: Washington State University; Tacoma: Puget Sound Partnership, 2012. (Publication no. PSP 2012-3).

HOULE, J. J.; ROSEEN, R. M.; BALLESTERO, T. P.; PULS, T. A.; SHERRARD JR., J. Comparison of maintenance cost, labor demands, and system performance for LID and conventional stormwater management. *Journal of Environmental Engineering*, New York, v. 139, no. 7, p. 932–938, 2013.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo demográfico 2010*. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>>. Acesso em: 23 mar. 2014.

IGRA. International Green Roof Association. *A quick guide to green roofs*. Nürtingen: IGRA, 2014a. Disponível em: <http://www.igra-world.com/links_and_downloads/images_dynamic/IGRA_Green_Roof_Pocket_Guide_2014.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2014.

IGRA. International Green Roof Association. *Green roof types*. Nürtingen: IGRA, 2014b. Disponível em: <http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php>. Acesso em: 22 mar. 2014.

KNOX, P. L. *Cities and design*. London: Routledge, 2011.

LAMAS, J. M. R. G. *A morfologia urbana e o desenho da cidade*. 6. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2011.

LID CENTER. *Green streets practice examples*. Beltsville: LID Center, 2008. Disponível em: <<http://www.lowimpactdevelopment.org/greenstreets/practices.htm>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

LUAN, D. *Universidade de Brasília (UnB)*. Goiânia: Rede Omnia, 2014. Disponível em: <<http://vestibular.brasilecola.com/universidades/unb-universidade-brasil.html>>. Acesso em: 2 abr. 2014.

LUCAS, A. H. *Monitoramento e modelagem de um sistema filtro - vala - trincheira de infiltração em escala real*. 2011. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)—Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

MAIS de 13.500 candidatos realizam no domingo provas do vestibular UFT. Araguaína: Conexão Tocantins, 1º jun. 2012. Disponível em: <<http://araguaina.conexaoto.com.br/2012/06/01/mais-de-13-500-candidatos-realizam-no-domingo-provas-do-vestibular-uft>>. Acesso em: 21 mar. 2014.

MAROTTA, P. *PERASF – asfalto permeável*. [S.l.]: Blog Propostas para o novo prefeito de Belo Horizonte [Internet], 6 jun. 2012. Disponível em:

<<http://propostasrq.wordpress.com/2012/10/06/perasf-asfalto-permeavel/>>. Acesso em: 15 maio 2014.

MARTINS, R. *Programa de Acesso aos Recursos de Saneamento*. Curso 2: Mecanismos OGU-PAC (Transferências Obrigatórias). Módulo 1: contexto normativo e institucional. Brasília, DF: Escola Nacional de Administração Pública, 2014.

MARTINS, V. C. D.; PEREIRA, J. A. R. Proposta de revitalização de sistema de drenagem urbana com base em técnicas de Water Sensitive Urban Design. In: SITEC 2011 SEMANA DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA, 2011, Belém. *Eventos científicos...* Belém: Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, 2011. p. 68–72.

MASCARÓ, J. L. *Loteamentos urbanos*. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2005.

MASCARÓ, J. L.; YOSHINAGA, M. *Infra-estrutura urbana*. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2005.

MEC. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. REUNI. *Expansão*. Brasília, DF: Ministério da Educação, 24 fev. 2010. Disponível em:
<http://reuni.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=100&Itemid=81>. Acesso em: 10 mar. 2012.

MEDEIROS, V. *Urbis Brasiliae: o labirinto das cidades brasileiras*. Brasília, DF: EDU - UNB, 2013.

MENDONÇA, A. D. A. *Memória e espaço: arquitetura, história e universidade*. A experiência da UFG (1960-1991). 2004. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em História)–Faculdade de História, Universidade Federal de Goiás, 2004.

MILOGRANA, J. *Sistemática de auxílio à decisão para a seleção de alternativas de controle de inundações urbanas*. 2009. 316 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)–Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.

MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C. . Revisitando o conceito de saneamento básico no Brasil e em Portugal. *Politécnica*, Salvador, v. 20-E, p. 5–11, 2014.

MORELLI, D. R. T.; BARBASSA, A. P. Planejamento urbano com técnicas de desenvolvimento de baixo impacto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. *Sumários...* Viamão: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009.

MOURA, P. M.; BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S. Avaliação multicritério de sistemas de drenagem urbana. *REGA: Revista de Gestão de Água da América Latina*, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 31–42, 2009.

OLIVEIRA, L. D. A geopolítica do desenvolvimento sustentável na CNUMAD–1992 (Eco-92): entre o global e o local, a tensão e a celebração. *Revista de Geopolítica*, Ponta Grossa, v. 2, n. 1, p. 43–56, 2011.

PEITER, T. V.; POLETO, C. Estudos dos efeitos de trincheiras de infiltração sobre o escoamento superficial. *REA – Revista de Estudos Ambientais*, Blumenau, v. 14, n. 2, p. 56–66, 2012.

POLETO, C. SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*): uma contextualização histórica. *Revista Thema*, Pelotas, v. 8, n. 1, p. 1–12, 2011.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 15–23, 2000.

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. *Detenção - as bacias que ficam secas*. Porto Alegre: Departamento de Esgotos Pluviais, 2008. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=69#>. Acesso em: 15 mar. 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Departamento de Esgotos Pluviais. *Plano diretor de drenagem urbana: manual de drenagem urbana*. v. VI. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

PRIETO, E. *Comissão Mista de Orçamento e o Câmpus Glória*. [S.l.]: Blog do Élisson Prieto [Internet], 30 set. 2011. Disponível em: <<https://elissonprieto.wordpress.com/tag/campus-gloria/>>. Acesso em: 31 mar. 2014.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. *Low-impact development design strategies: an integrated design approach*. Largo: Department of Environmental Resource, 1999. Disponível em: <http://www.lowimpactdevelopment.org/pubs/LID_National_Manual.pdf>. Acesso em: 8 maio 2014.

PRINZ, D. *Urbanismo II: configuração urbana*. Tradução Luís Leitão. Revisão Irene Belger San Payo Cadima. Lisboa: Editorial Presença, 1980.

REAPROVEITAMENTO da água da chuva x enchentes! *GGN - O Jornal de Todos os Brasis*, [S.l.], 2 fev. 2014. Disponível em: <<http://jornalggn.com.br/comment/211641#comment-211641>>. Acesso em: 8 maio 2014.

REGINO, P. *Banco de imagens da empresa Aerovista Brasil* (imagens sob consulta) [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <geranifelix@gmail.com> em 18 fev. 2015.

ROLNIK, R. Planejamento e gestão: um diálogo de surdos? In: MOREIRA, M. (Coord.). *Estatuto da Cidade*. São Paulo: Fundação Prefeito Faria Lima-CEPAM, 2001. p. 115–121.

ROMERO, M. A. B.; SILVA, C. F. E.; PAZOS, V. *Universidade nos quatro cantos: planos diretores urbanísticos dos campi da Universidade de Brasília – UnB 50 anos*. Brasília, DF: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo-LaSUS, 2012.

ROSSI, A. *A arquitetura da cidade*. Tradução Eduardo Brandão. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

SANTOS JÚNIOR, O. A.; MONTANDON, D. T. Síntese, desafios e recomendações. In: SANTOS JÚNIOR, O. A.; MONTANDON, D. T. (Org.). *Os planos diretores municipais pós-estatuto da cidade: balanço crítico e perspectivas*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2011. p. 27–56.

SOUTHWORTH, M.; BEN-JOSEPH, E. Reconsidering the cul-de-sac. *Access*, Berkeley, no. 24, p. 28–33, 2004.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 9–18, 2012.

SOUZA, V. C. B. Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*, Salvador, v. 1, n. 1, p. 58–72, 2013.

SOUZA, V. C. B.; MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C. Déficit na drenagem urbana: buscando o entendimento e contribuindo para a definição. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*, Salvador, v. 1, n. 2, p. 162–175, 2013.

TAUCHEN, J. A. *Um modelo de gestão ambiental para implantação em instituições de ensino superior*. 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)–Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2007.

TAVANTI, D. R.; BARBASSA, A. P. Análise dos desenvolvimentos urbanos de baixo impacto e convencional. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 17–28, 2012.

TECEDOR, N.; BAPTISTA, L. F. S.; FELIPE, M. C.; BARBASSA, A. P. Técnicas compensatórias em drenagem urbana aplicadas no campus da UFSCar. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS FATEC, 5., 2013, Jahu. *Anais...* São Carlos: RiMa Editora, 2013. p. 18–31.

TREKEARTH. *Vista aérea do campus Pampulha da UFMG by guilhermeca*. [S.l.]: TrekEarth, 2012. Disponível em: <http://www.trekearth.com/gallery/South_America/Brazil/Southeast/Minas_Gerais/Belo_Horizonte/photo975336.htm>. Acesso em: 22 maio 2014.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008.

TUCCI, C. E. M. *Gestão da drenagem urbana*. Brasília, DF: CEPAL; Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs_Ipea_Cepal/tdcepal_048.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2014.

UFG expande infraestrutura. *Jornal UFG*, Goiânia, ano VII, n. 64, nov./dez. 2013. Disponível em: <<https://jornalufgonline.ufg.br/n/65871-ufg-expande-infraestrutura>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

UFG. UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS. *UFG: 2006-2013*, Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2013. Disponível em: <http://www.ascom.ufg.br/up/84/o/Livro_UFG_2006-2013.pdf?1398694667>. Acesso em: 14 mar. 2014.

UFRJ. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. *Os arredores da Cidade Universitária*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.lance-ufrj.org/estrutura-e-arredores.html>>. Acesso em: 3 abr. 2014.

UFSC. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. *Estrutura UFSC*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. Disponível em: <<http://estrutura.ufsc.br/>>. Acesso em: 26 abr. 2014. Disponível em: <<http://planodiretor.ufsc.br/files/2011/09/Livro-Plano-Diretor-2005.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2014.

UFSM. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. *Fotos panorâmicas*. Santa Maria: Centro de Processamento de Dados, 2001. Disponível em: <http://sucuri.cpd.ufsm.br/_outros/visita_panoramicas.php>. Acesso em: 16 mar. 2014.

UNIVERSITY OF ARKANSAS COMMUNITY DESIGN CENTER. *Low impact development: a design manual for urban areas*. Fayetteville: University of Arkansas Press, 2010.

VALLE JÚNIOR, F. R.; PASQUALETTO, A. O planejamento urbano e a função social da propriedade. *Estudos*, Goiânia, v. 39, n. 1, p. 29–43, 2012.

VISTA aérea Campus do Vale Anel Viário. Autoria desconhecida, 1979. Porto Alegre: Leituras da Cidade, 2014. [Website]. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/leiturasdacidade/oqver.php?idsecao=a97b0047f512940c6d6f978357f743ab&&idtitulo=ca43fc1a52bc9573e20cd64eda161ba9>>. Acesso em: 19 mar. 2014.

WHELANS, CONSULTANTS IN URBAN AND REGIONAL PLANNING. *Water sensitive urban (residential) design guidelines for the Perth Metropolitan Region*: discussion paper. Perth: The Department and the Authorities, 1993.

YAZAKI, L. F. O. L.; TOMINAGA, E. N. S.; SOSNOSKI, A. S. K. B.; RADESCA, F. D.; SIMIONATO, L. Y. *Projeto técnico: jardins de chuva*. São Paulo: Soluções para Cidades, 2013. Disponível em: <http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/04/AF_Jardins-de-Chuva-print-digital.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2014.