

## LÓGICA FUZZY APLICADA A ELABORAÇÃO DE CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO DA ÁREA DE EXPANSÃO DA UNICAMP - CAMPINAS, SP

*FUZZY LOGIC APPLIED TO GEOTECHNICAL MAPPING OF THE SUITABILITY OF TERRAINS OF THE EXPANSION AREA OF UNICAMP TO URBANIZATION - CAMPINAS, SP*

**Gabrielle Alberta PEREIRA<sup>1</sup>, Alfredo Borges DE-CAMPOS<sup>1</sup>, Priscila Jana da SILVA<sup>1</sup>, David de CARVALHO<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Instituto de Geociências. Rua Carlos Gomes, 250 - Cidade Universitária, Campinas - SP. E-mails: gaalberta@gmail.com; acampos@ige.unicamp.br; prii.jana@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Faculdade de Engenharia Agrícola. Avenida Cândido Rondon, 501 - Cidade Universitária, Campinas - SP. E-mail: d33c@uol.com.br

Introdução  
Área de estudo  
Materiais e métodos  
Resultados e discussão  
Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização obtida por meio da lógica *fuzzy*  
Conclusão  
Referências

**RESUMO** - A necessidade de se planejar e direcionar o uso e ocupação do solo fez com que surgissem variados métodos para esse fim, dentre estes a cartografia geotécnica. A avaliação da aptidão de terrenos para urbanização tem sido tradicionalmente realizada pela cartografia geotécnica, sendo atualmente fortemente apoiada em ferramentas de geoprocessamento. A lógica *fuzzy* é um método matemático que pode ser aplicado como ferramenta de geoprocessamento para fins cartográficos quando se necessita realizar a análise integrada de diversos temas. Este estudo objetivou testar a aplicação da lógica *fuzzy* para elaboração de carta geotécnica de aptidão a urbanização da área de expansão da UNICAMP. Para esse fim, mapas geológico, hidrológico, geomorfológico e de solos foram compilados, atualizados em campo e tratados pelo *software GIS, ArcMap 10.7*. A seguir a lógica *fuzzy* foi aplicada e as classes de aptidão a urbanização foram determinadas. Complementarmente se realizou ensaios geotécnicos nas classes de aptidão para melhor caracterização dessas e validação do mapeamento gerado pela lógica *fuzzy*. Foram definidas 6 classes de aptidão a urbanização, separando áreas propícias a ocupação, áreas com ocupação permitida se observando determinados critérios técnicos e áreas com restrição severa ou absoluta a urbanização, tais como áreas de preservação previstas pelas leis ambientais e ou de proteção dos recursos hídricos. A lógica *fuzzy* se mostrou um método eficiente para a diferenciação das classes de aptidão a urbanização.

**Palavras-chave:** Cartografia geotécnica. Lógica *fuzzy*. Expansão urbana.

**ABSTRACT** - The need to plan and drive the use of the lands led to the emergence of various methods for this purpose, including geotechnical mapping. The assessment of land suitability for urbanization has traditionally been carried out by geotechnical mapping, and is currently heavily supported by GIS tools. *Fuzzy* logic is a mathematical method that can be applied as a GIS tool for mapping purposes when it is necessary to carry out an integrated analysis of several themes. This study aimed to test the application of *fuzzy* logic for the elaboration of a geotechnical mapping on the suitability of terrains of the expansion area of UNICAMP for urbanization. For this purpose, geological, hydrological, geomorphological and soil maps were compiled, updated in the field and treated by the GIS software, ArcMap 10.7. Then the *fuzzy* logic was applied and the suitability units for urbanization were determined. In addition, geotechnical tests were performed in the units to better characterize those and validate the mapping generated by the *fuzzy* logic. Six classes of aptitude for urbanization were defined, separating areas suitable for occupation, areas with permitted occupation if certain technical criteria are observed, and areas with severe or absolute restriction to urbanization, such as preservation areas provided by environmental laws and or protection of water resources. The *fuzzy* logic showed to be an efficient method for the differentiation of the suitability of units for urbanization.

**Keywords:** Geotechnical mapping. *Fuzzy* logic. Urban expansion.

### INTRODUÇÃO

O geoprocessamento vem influenciando de maneira crescente áreas da cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicação, energia e planejamento urbano e regional. Com relação aos estudos ambientais, os sistemas de informação geográfica (SIG) vêm sendo muito empregados na realização de mapeamento temático, diagnóstico ambiental, avaliação de impacto ambiental e no ordenamento territorial (Camara & Medeiros, 1998).

Os SIG apresentam duas características principais, que são: 1) inserir e integrar, em uma base de dados única, informações espaciais obtidas de dados cartográficos, censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno e, 2) oferecer mecanismos para combinar os vários níveis de informação por meio de operações de manipulação e análise por algoritmos, bem como consultar, recuperar visualizar e plotar o conteúdo da base de dados

georreferenciados (Silva, 2005).

A lógica *fuzzy* pode se conectar ao geoprocessamento pois, de acordo com Zadeh & Jamshidi (1997), a lógica *fuzzy* pode ser definida como sendo uma ferramenta matemática capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em linguagem natural, e convertê-las para um formato numérico, de fácil manipulação pelos computadores de hoje em dia. Segundo Saraiva (2000) a teoria dos conjuntos *fuzzy* foi expandida para utilização em diversas áreas, tais como teoria dos sistemas, ainda mesmo enquanto essa teoria estava sendo trabalhada. Foi, além disso, também desenvolvida para incluir aplicações outras como modelagem, avaliação, otimização, tomada de decisão, controle, diagnose e informação. Esta lógica tem sido testada em vários problemas reais como controle, inteligência artificial e gerenciamento. Assim,

### ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na porção nortenoeste do município de Campinas - SP (Figura 1), no distrito de Barão Geraldo, constituindo gleba de terra pertencente a antiga Fazenda Argentina.

A área de estudo é constituída em sua maior parte por diabásios da Formação Serra Geral. Na porção leste encontra-se associação faciológica de diamictitos, lamitos e ritmitos areno-silto-argilosos do Subgrupo Itararé, granitos da Suíte Granítica Jaguariúna e gnaisses do Complexo Itapira, além

as aplicações da teoria dos sistemas em associação com a lógica *fuzzy* não estão restritas ao emprego de sua concepção inicial; há estudos - alguns deles já concluídos - para um mais abrangente desenvolvimento dos seus conceitos básicos.

Esse estudo objetivou testar a aplicação da lógica *fuzzy* em ambiente SIG para determinação de classes geotécnicas e elaboração de carta geotécnica de aptidão a urbanização em escala 1:10.000. Trata-se de uma pesquisa inédita em relação a abordagem metodológica utilizada que associa técnicas de mapeamento geotécnico tradicional com a lógica *fuzzy*. Para o desenvolvimento do estudo, selecionou-se a área de expansão da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) a qual é de amplo conhecimento dos autores e está em fase de estudo para implantação de infraestrutura urbana.

de depósitos sedimentares associados ao Ribeirão das Anhumas (Fernandes et al., 2009).

De acordo com Yoshinaga (1997), o município de Campinas é subdividido em dois grandes compartimentos geomorfológicos: o Planalto Atlântico, a leste, e a Depressão Periférica a oeste, contendo entre os dois uma zona de transição. A área de estudo se situa no domínio da Depressão Periférica que apresenta relevo dominado por morros ondulados a inclinados com declividades entre 9 e 30%.

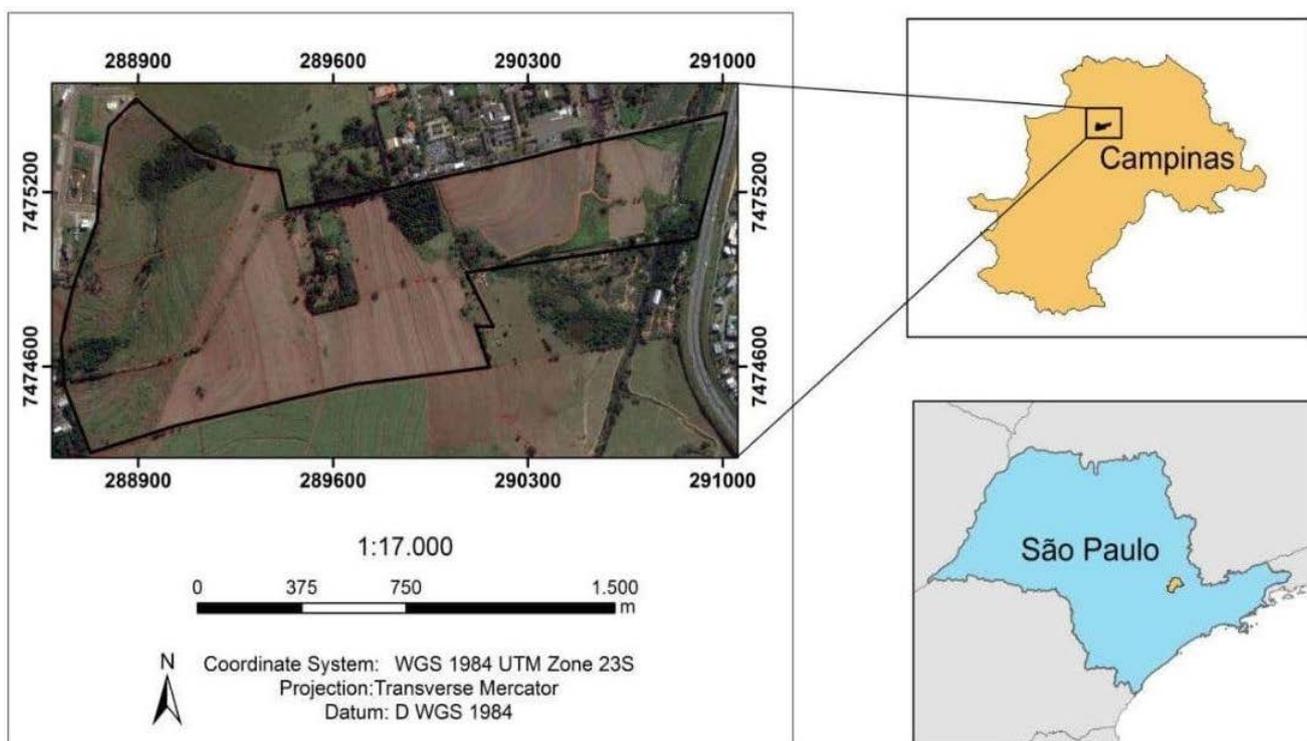


Figura 1- Localização da área de estudo.

O curso principal do Ribeirão das Anhumas corta a área de estudo. Esse ribeirão está localizado inteiramente na região metropolitana de Campinas sendo um curso d'água tributário do Rio Atibaia (Sevá Filho, 2001). Segundo a

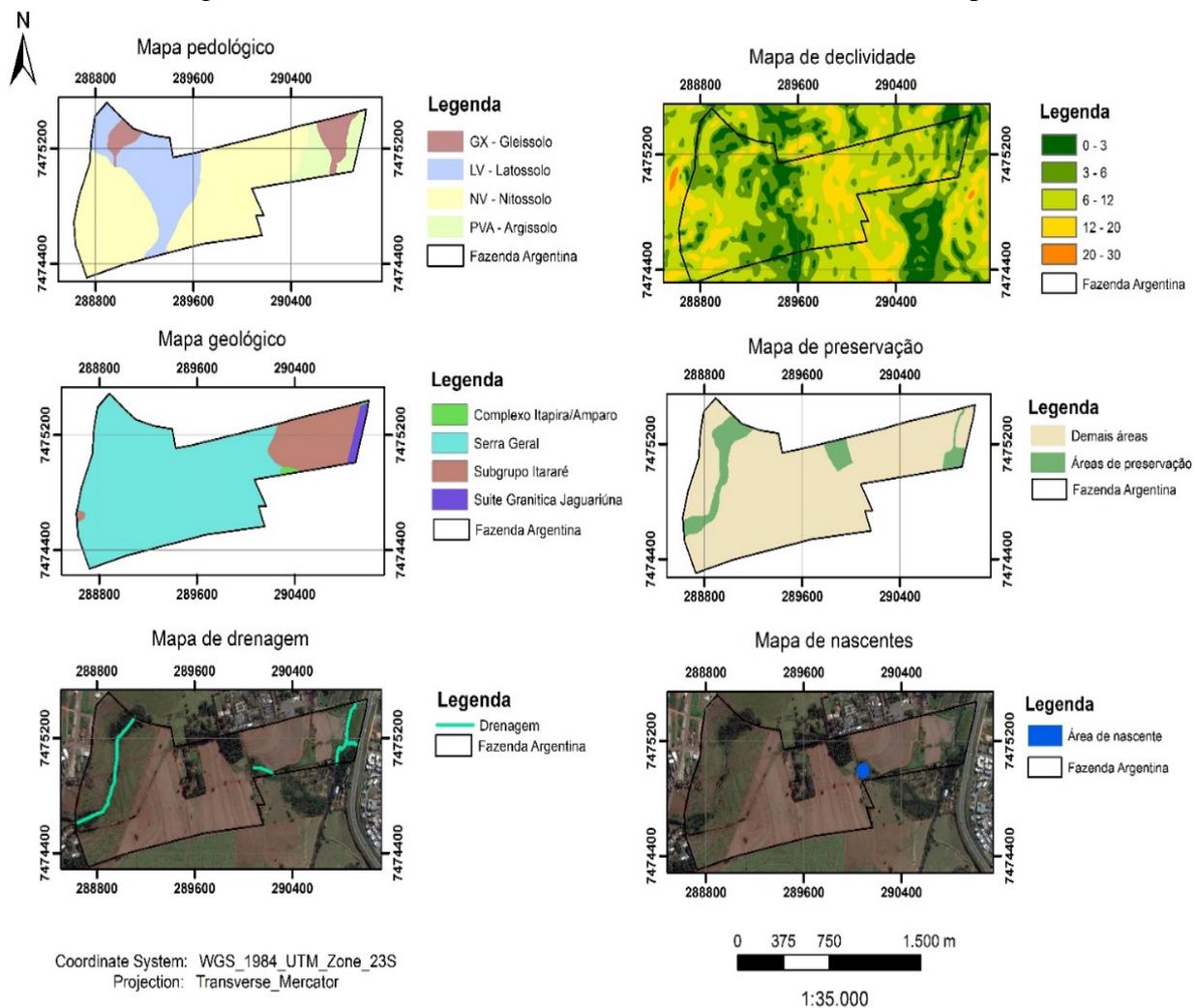
classificação de Köppen, o clima da região pode ser caracterizado como mesotérmico de inverno seco (Cwa).

Na área de estudo ocorrem Latossolos, Nitosolos e Gleissolos (Alvarenga & Ladeira, 2018).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foram gerados *shapesfiles* de mapas temáticos para análise cartográfica e aplicação da lógica *fuzzy* para definição das classes de aptidão à urbanização. Os *shapesfiles* gerados de geologia, pedologia, áreas de preservação, *raster* de declividade (esse vetor é indicado quando contém um valor representando informações), nascentes e drenagem, são apresentados na figura 2.

A seguir foi criado um *buffer* da drenagem segundo a distância definida pelo Código Florestal (Lei nº 12.651 e 12.727 de 2012) que determina uma distância de 30 metros para os cursos d'água da margem do rio e 50 metros de distância para *buffer* das nascentes que deve ser preservada (Figura 2). Para a elaboração dos mapas foi utilizado o software de GIS empresa ESRI, software GIS, ArcMap 10.7.



**Figura 2** - Conjunto de mapas de atributos do meio físico da área de estudo (denominada também como Fazenda Argentina).

Posteriormente, esses *shapesfiles* foram transformados para *raster*. A seguir, todos os *rasters* foram classificados segundo pesos definidos para cada atributo, sendo estes escolhidos com base nas características do meio físico da área de estudo, na literatura e legislação ambiental vigente (Tabela 1).

classe considerou-se valores próximos de 100 como ideais para a ocupação e valores próximos de 0 como inadequados para a ocupação. A atribuição dos pesos transformou informações espaciais qualitativas em informações numéricas, sendo esse procedimento necessário para aplicação da lógica *fuzzy*.

Na distribuição dos pesos para cada atributo e

Para aplicação da lógica *fuzzy* for escolhido o

Tabela 1- Pesos utilizados na lógica *Fuzzy*.

Atributo	Classe	Peso
Declividade	0 -3	100
	3-6	100
	6-12	80
	12-20	50
Litologia	Complexo Itapira	60
	Serra Geral	90
	Itararé	40
	Suíte Granítica	90
Preservação	Mapas delimitadas	0
	Demais áreas	90
Pedologia	Argissolo	60
	Gleissolo	10
	Latossolo	90
	Nitossolo	70
Drenagem	Até 30 m da margem	0
	>30 m	90
Nascentes	Até 50 m da margem	0
	>50 m	90

operador *AND*. Esse operador foi utilizado para analisar de forma integrada todas as informações temáticas obtidas por meio dos pesos, como mostrado nos mapas *Raster* abaixo (Figura 3).

Como os atributos utilizados estão fortemente ligados (como o tipo de solo com o tipo litológico etc.), esse operador foi o que melhor se adequou ao objetivo do estudo.

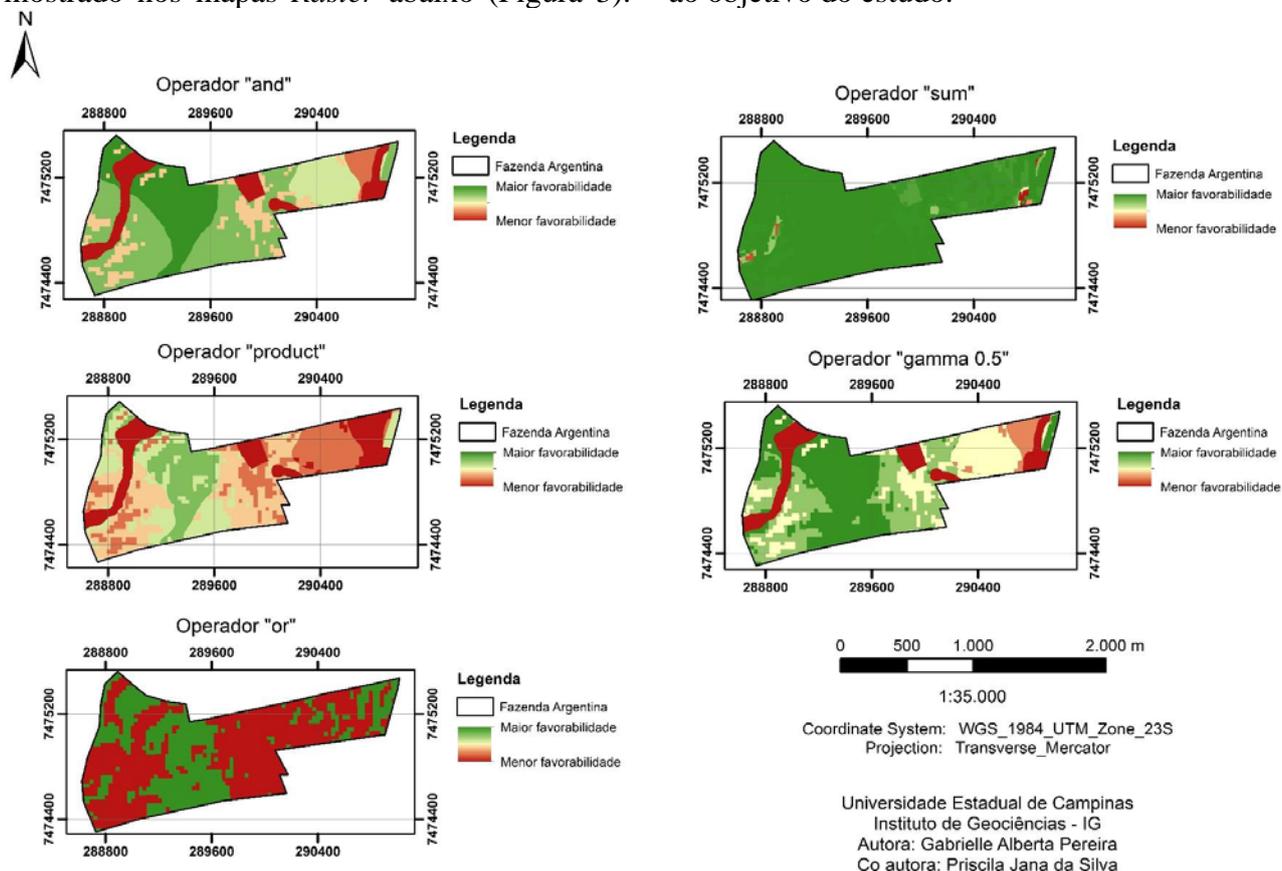


Figura 3 - Exemplos de mapas de favorabilidade obtidos pelos operadores da lógica *fuzzy*, aplicada à área de estudo (denominada também como Fazenda Argentina).

As classes de aptidão geradas pela lógica *fuzzy* foram verificadas em campo. Durante a etapa de campo foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo na profundidade de 50 cm para as diferentes classes para realização de ensaios geotécnicos em laboratório.

Também ensaio de permeabilidade do solo foi realizado em campo nos pontos de coleta das

amostras (Figura 4). Em laboratório foram realizados ensaios de índices físicos do solo (norma NBR 9820 de 09/1997), massa específica dos sólidos (norma ABNT, NBR – 6508), ensaio de granulometria (norma NBR 7181/1984 da ABNT), limites de Atterberg (ABNT, NBR-6459 e NBR-7180) e o ensaio de compactação (norma ABNT NBR 7182/86).

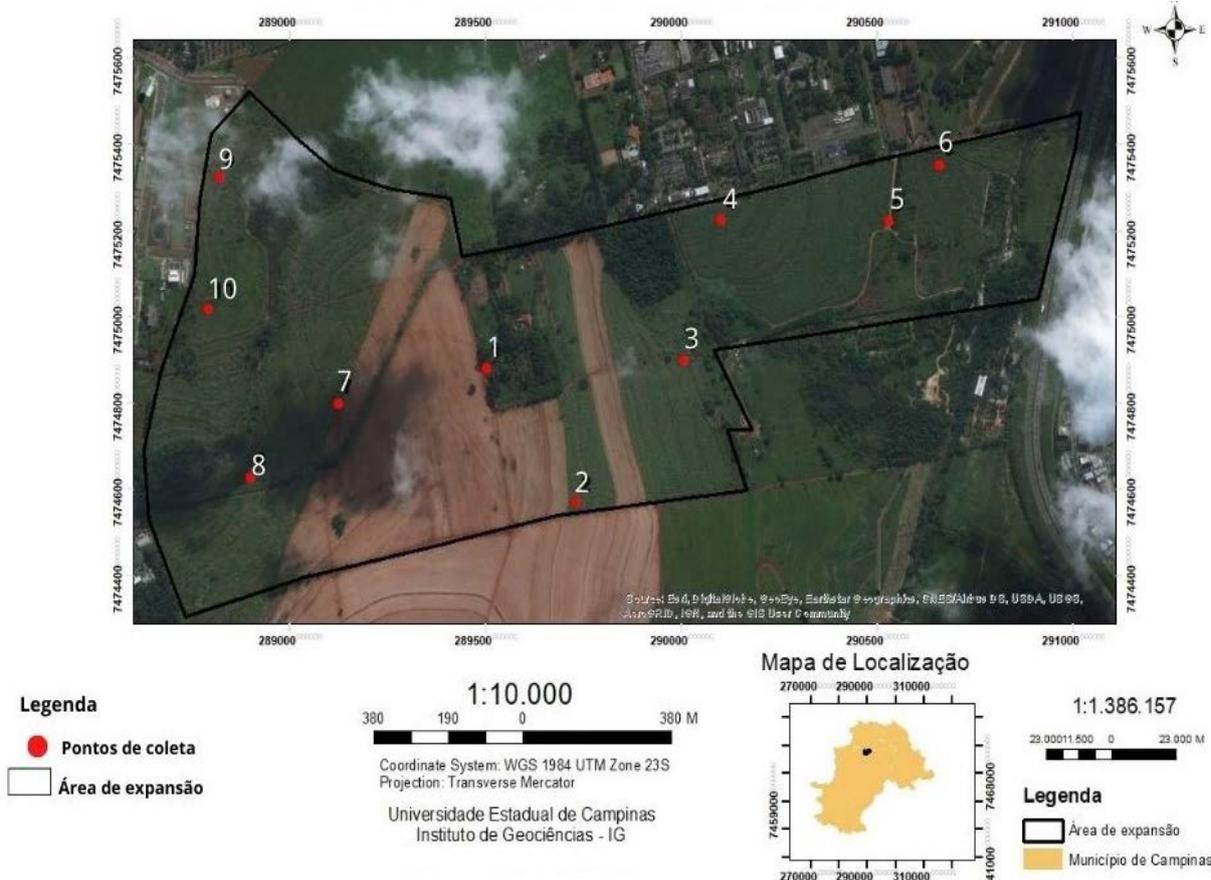


Figura 4 - Mapa de pontos de coleta de solo da área de expansão da Unicamp.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização obtida por meio da lógica *fuzzy*

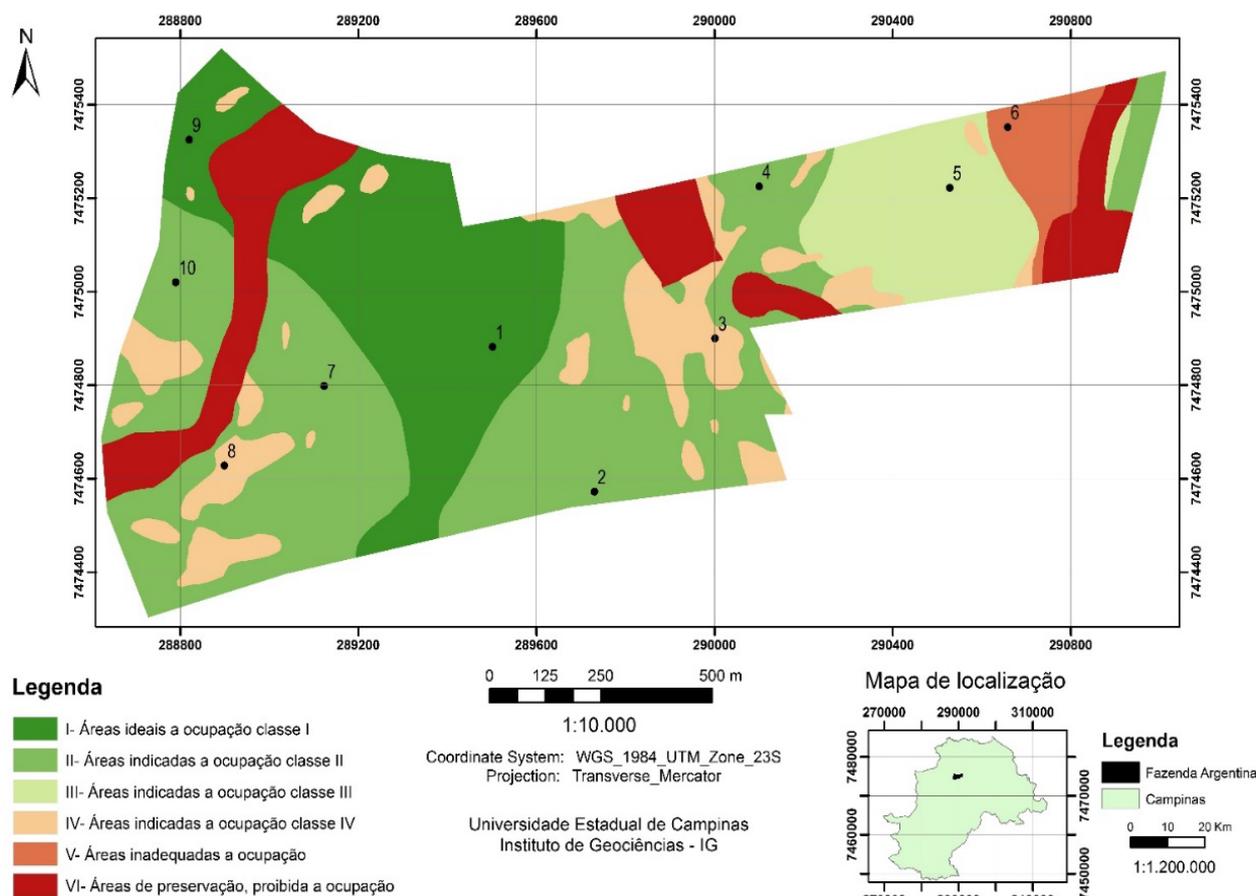
A carta geotécnica de aptidão à urbanização obtida por meio de análise espacial com uso da lógica *fuzzy* é apresentada na figura 5. Essa foi obtida pela análise conjunta das classes de favorabilidade à urbanização associadas a cada atributo, ponderando-se os valores de favorabilidade, e se mostrou bastante satisfatória, mesmo na etapa anterior a sua verificação em campo.

Por meio da lógica *fuzzy* foram definidas seis classes de aptidão a urbanização (Figura 5), sendo quatro favoráveis a ocupação (classes I a IV) e duas não favoráveis a ocupação urbana (classes V e VI).

As classes favoráveis à ocupação estão ordenadas do maior (classe I) para o menor grau de favorabilidade (classe IV), sendo as áreas

mais favoráveis localizadas no setor centro-oeste. Áreas menos favoráveis predominam no setor leste ou ocorrem como áreas menores nos setores central e oeste.

As classes I e II se caracterizam pela presença de substrato geológico constituído por diabásio, rocha maciça e homogênea, da Formação Serra Geral. Latossolos predominam na classe I associados a declividades mais baixas (<6%) enquanto Nitossolos predominam na classe II associados a declividades ligeiramente maiores (<12%). A classe I apresenta bom comportamento geotécnico devido a presença de solos homogêneos e bem drenados enquanto a classe II apresenta restrições para edificações com fundações rasas devido a presença de horizonte muito argiloso (Bt) que promove impedimento de drenagem vertical e saturação do solo.



**Figura 5** - Carta Geotécnica de Aptidão à urbanização da área de estudo obtida por meio da lógica *fuzzy* com localização dos pontos de coleta de amostras de solos para ensaios laboratoriais e realização de ensaios de permeabilidade em campo, da área de expansão da Unicamp (denominada também como Fazenda Argentina).

A classe III é encontrada em área de ocorrência de rochas areno-silto-argilosas pertencentes ao Subgrupo Itararé. Predominam Argissolos associados a declividades de 3-12%. Essa classe também apresenta restrições para edificações com fundações rasas devido a presença de horizonte argiloso (Bt) que promove impedimento de drenagem vertical e saturação do solo.

Nesta classe pode haver oscilação do lençol freático associado a aquífero intergranular presente nos estratos sedimentares e potencial contaminação das águas subterrâneas por meio da introdução de contaminantes no solo.

A classe IV difere das demais devido sua ocorrência em áreas de maior declividade (>12%). Nessas áreas a formação de fluxo superficial durante eventos chuvosos é significativo podendo resultar em processos erosivos do solo e surgimento de ravinas. Processos erosivos do solo podem também ocorrer nas classes II e III. Recomenda-se fundação profunda na classe IV.

A classe V é caracterizada pela presença de solos moles, principalmente Gleissolos, desenvolvidos em áreas de baixa declividade que estão sob efeito de inundações, alagamentos ou

saturação do solo devido a episódios de precipitação, presença de cursos fluviais ou nível do lençol freático próximo a superfície. Constitui uma classe com comportamento geotécnico ruim e restrições severas a urbanização. A classe VI ocorre em áreas com restrição absoluta a urbanização, que são protegidas pelas leis 12.651 e 12.727 de 2012 ou que apresentam valor ecológico e ambiental significativo, tais como fragmentos de mata nativa.

Dados obtidos por meio dos ensaios geotécnicos realizados em campo e laboratório são apresentados na Tabela 2. Nesta tabela são apresentados resultados dos 10 pontos selecionados para realização dos ensaios, os quais foram definidos a partir das classes de aptidão a urbanização obtidas pela lógica *fuzzy*. Dessa forma, se complementou a análise cartográfica realizada por meio da lógica *fuzzy* com dados de ensaios geotécnicos. Os resultados dos índices físicos do solo são apresentados na Tabela 2.

Os teores de umidade mais altos foram determinados para os pontos 7 e 8 em locais onde o solo apresentou menor permeabilidade (Tabela 2). Isso indica que nesses locais o solo tem maior

**Tabela 2 - Resultados dos ensaios geotécnicos.**

Pontos	Umidade (%)	Massa específica natural (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica dos sólidos (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidade (%)	Índice de vazios	Grau de saturação (%)	Coef. de permeabilidade (cm/s)
1	22,9	1,54	2,64	1,25	52,6	1,11	54,6	2,29x10 <sup>-3</sup>
2	22,6	1,54	2,43	1,26	48,2	0,93	59	2,01x10 <sup>-3</sup>
3	21,9	1,72	2,67	1,41	47,1	0,89	65,7	1,27x10 <sup>-3</sup>
4	22,5	1,63	3,01	1,33	55,7	1,26	53,7	1,07x10 <sup>-3</sup>
5	21,4	1,7	2,74	1,4	48,9	0,96	61,1	2,15x10 <sup>-3</sup>
6	13,1	1,7	2,7	1,5	44,4	0,8	44,2	1,95x10 <sup>-3</sup>
7	25,3	1,65	2,94	1,32	55,2	1,23	60,5	2,93x10 <sup>-3</sup>
8	24,7	1,57	2,88	1,25	56,5	1,3	54,7	4,87x10 <sup>-3</sup>
9	22,7	1,45	2,73	1,18	56,5	1,3	47,7	1,07x10 <sup>-3</sup>
10	22,9	1,52	2,44	1,24	49,2	0,97	57,6	9,75x10 <sup>-3</sup>

Ponto	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Umidade ótima (%)	Massa específica seca (%)
1	50	31,9	18,1	26,3	1,59
2	56	34,9	21,6		
3	44,8	30,6	14,2	24,0	1,62
4	42	32,3	9,7	26,5	1,52
5	44	32,6	11,4	24,0	1,62
6	32	24,5	7,5	17,0	1,72
7	47	33,5	13,5	28,0	1,48
8	44,4	35,9	8,4	28,5	1,47
9	42	32,3	9,7	25,0	1,59
10	40,8	30,9	9,9	24,5	1,63

Pontos	Argila %	Silte %	Areia %				Pedregulho %
			Fina	Média	Grossa	Total areia	
1	52,5	23,0	15,8	7,6	1,1	24,6	0
2	50,5	25,8	13,5	8,1	2,2	23,7	0
3	50,8	16,3	19,9	10,7	2,3	32,9	0
4	29,1	41,2	22,1	6,6	1	29,8	0
5	42,9	20,4	16,5	12,4	7,9	36,7	0
6	23,8	21,0	16,8	23,9	14,5	55,1	0
7	50,0	21,0	19,1	8,3	1,5	29,0	0
8	57,2	15,3	15,7	9,1	2,7	27,5	0
9	42,7	24,9	18,4	11,7	2,3	32,5	0
10	36,5	21,0	31,8	9,0	1,7	42,4	0

capacidade natural de reter água. Observa-se que em relação a porosidade as maiores porcentagens (> 50%) aparecem nos pontos 1, 4, 7, 8 e 9, ressaltando que nos pontos 8 e 9 esta atingiu cerca de 57%.

Esse resultado chama a atenção para uma resistência média e possível deformabilidade do solo nesses pontos, embora estes estejam localizados em áreas indicadas para a urbanização (Figura 5). O índice de vazios variou entre 0,8 a 1,3 permanecendo dentro do intervalo de valores normais

Costuma-se situar entre 0,5 e 1,5, mas argilas orgânicas podem ocorrer com índices de vazios superiores a 3 (volume de vazios, no caso com água, superior a 3 vezes o volume de partículas sólidas) (Pinto, 2006).

As massas específicas natural e aparente seca mostraram tendência de variação semelhante entre si e com o índice de vazios, apresentando valores mais altos para os solos dos pontos 3,4,5 e 6, o que indica que nesses pontos os solos são

mais propensos a eliminar o ar e a água dos poros sob efeito da compactação e adensamento, podendo constituir solos moles.

Os resultados do coeficiente de permeabilidade (Tabela 2) mostraram que os menores valores de permeabilidade ocorrem nos pontos 6,7,8 e 10 que constituem solos com presença de horizonte argiloso (horizonte Bt) que impede a infiltração vertical da água (pontos 7, 8 e 10). A baixa permeabilidade encontrada no ponto 6 pode estar associada a algum processo de compactação do horizonte B.

Em relação aos resultados dos ensaios granulométricos (Tabela 2), as maiores porcentagens de argila aparecem nos pontos 1,2,3,7 e 8 que são característicos de áreas onde ocorrem solos residuais de diabásio. A maior porcentagem de areia ocorre no ponto 6 e de silte no ponto 4 localizados em área com ocorrência do Subgrupo Itararé, caracterizado por conter fácies siltosas e arenosas.

Resultados dos ensaios para determinação dos limites de Atterberg são apresentados na tabela 2 e a partir destes foram obtidos o limite de liquidez (LL) e plasticidade (LP) e o índice de plasticidade (IP). Os resultados do IP ficaram dentro do esperado (Tabela 2). Com exceção dos pontos 1 e 2, cujo  $IP > 15\%$  indica solos com alta plasticidade e menos arenosos (Tabela 2), nos demais pontos o IP manteve-se entre 7,5 e 14,2% indicando solos com plasticidade mediana (conforme Caputo, 1973). Segundo Pinto (2006), IPs entre 14 e 30 % são comuns em áreas com solos residuais de basalto, litologia essa que possui litotipo similar na área de estudo (diabásio). O ponto que se destaca é o ponto 6 com IP de 7,5% localizado em solo mais arenoso. Em geral, quanto maior o valor de IP menor é o valor da permeabilidade (Tabela 2).

No ensaio de compactação com o Proctor Normal (Tabela 2) foram obtidos dados de  $Y_d$  max e  $W$  ótimo sendo que o  $Y_d$  max variou de 1,48 a 1,72 g/cm<sup>3</sup> e o  $W$  ótimo de 17% a 28%. O menor  $Y_d$  max correspondente ao maior  $W$  ótimo foi encontrado para o ponto 7 localizado sobre diabásio, o que concorda com estudos de Gon (2011) desenvolvidos em solos residuais de Campinas.

O menor valor de  $W$  ótimo foi obtido no ponto 6 localizado no solo mais arenoso, o qual tem

maior facilidade de sofrer compactação, ao contrário de solos mais argilosos, em que a argila retém a água ao redor das partículas como uma película, expulsando-a apenas com teores mais altos de umidade.

Os dados de compactação obtidos podem ser considerados satisfatórios e dentro do esperado, conforme discutido em pesquisa complementar desenvolvida por Silva (2018).

Os resultados obtidos a partir dos ensaios geotécnicos confirmam a separação das classes de aptidão a urbanização obtida por meio da lógica *fuzzy*.

De fato, é possível distinguir diferentes comportamentos geotécnicos das classes de aptidão por meio dos ensaios geotécnicos. Isso valida a definição das classes de aptidão realizada pela lógica *fuzzy*.

A partir do mapeamento obtido pela lógica *fuzzy*, validação das classes de mapeamento em campo e realização dos ensaios geotécnicos, foi elaborada a versão final da carta geotécnica de aptidão à urbanização, conforme objetivo proposto para essa pesquisa. Segundo a metodologia proposta, os ensaios geotécnicos se tornaram complementares ao estudo cartográfico e a análise conjunta de ambos está expressa na legenda explicativa das classes de aptidão a urbanização (Tabela 3).

**Tabela 3** - Legenda explicativa da carta geotécnica.

Grupo	Classe	Características geológicas e geotécnicas	Problemas existentes ou esperados	Soluções e precauções
Áreas ocupáveis	I	Substrato geológico constituído de diabásio, rochas maciças e homogêneas. Predominam Latossolos, profundos, homogêneos e com bom comportamento geotécnico. Declividade suave (até 12%, com predomínio de 0-6%). Porosidade e permeabilidade altas, solo argiloso.	Resistência média e possível deformabilidade no solo. Pontos de alagamento nas áreas com declividade muito baixa.	Áreas propícias para construção civil. Suporta fundações rasas e profundas e edificações pesadas. Implantar sistema de drenagem para evitar pontos de alagamento. Atender exigências do código de obras para áreas de topografia suave.
	II	Substrato geológico constituído de diabásio ou rochas sedimentares. Predominam Nitossolos com horizonte muito argiloso a 60cm de profundidade. Declividade varia de 0 a 12%, com predomínio de 6-12%. Solos com umidade alta, permeabilidade baixa, compactação baixa.	Resistência média e possível deformabilidade no solo. Erosão do solo. Possibilidade de fluxo d'água em superfície e formação de pontos de alagamento em áreas de declividade baixa. Umidade ascendente por capilaridade no solo.	Indicada para edificações de moderada a baixa carga. Manter as áreas não edificadas com cobertura vegetal. Implantar sistema de drenagem para controlar o escoamento superficial. Recomenda-se fundação profunda. Impermeabilização de baldrame e cintas. Atender exigências do código de obras para áreas de topografia suave a ondulada.
	III	Substrato geológico constituído de rochas sedimentares areno-silto-argilosas. Argissolos com horizonte argiloso a 60cm de profundidade. Declividade varia de 3 a 12%. Alto índice de vazios.	Erosão do solo. Contaminação da água subterrânea associada a aquífero intergranular em rocha sedimentar. Umidade ascendente por capilaridade no solo.	Manter as áreas não edificadas com cobertura vegetal. Implantar sistema de drenagem para controlar o escoamento superficial. Recomenda-se fundação profunda. Impermeabilização de baldrame e cintas. Evitar descarte de efluentes não tratados no solo e instalação de atividades que possam contaminar o subsolo.
	IV	Substrato constituído por diabásio ou rochas sedimentares. Predominam Nitossolos e Argissolos. Declividade entre 12 e 20%. Permeabilidade baixa, solo argiloso.	Erosão do solo forte associada a áreas com maior declividade. Formação de fluxo superficial e enxurrada.	Manter as áreas não edificadas com cobertura vegetal. Implantar sistema de drenagem para controlar o escoamento superficial. Adotar medidas preventivas e corretivas para controle de erosão do solo. Recomenda-se fundação profunda.
Áreas não ocupáveis ou com restrições	V	Áreas marginais a cursos fluviais ou sob efeito da oscilação do lençol freático. Predominam Gleissolos arenosos, com alto índice de vazios, baixa permeabilidade, alta compactação, constituindo solos que podem sofrer inundações periódicas e saturação.	Solos saturados devido a ocorrência de episódios chuvosos, enchentes, ou elevação do nível freático. Solos moles, com baixa capacidade de suporte de carga e baixa resistência mecânica, com possibilidade de sofrer recalques.	Restrição parcial a urbanização e uso físico da área. Eventuais ocupações com edificações leves que não necessitam de fundação. Áreas indicadas para parques ou uso recreativo.
	VI	Áreas de preservação permanente, de acordo com as leis N° 12.651 e 12.727 de 2012, que protege nascentes e margens de rios. Ocorrência de fragmentos de matas nativas com potencial para preservação devido suas funções ecológica e ambiental.	Enchentes fluviais e saturação do solo por elevação do nível freático. Contaminação de nascentes e águas superficiais por efluentes não tratados ou atividades associadas a urbanização.	Restrição absoluta a qualquer tipo de urbanização e uso físico da área. Seguir legislação vigente. Eventuais ocupações existentes deverão ser removidas e setores desmatados deverão ser reflorestados.

## CONCLUSÃO

As etapas propostas na pesquisa foram elaboração de uma carta geotécnica de aptidão a possíveis de realização e resultaram na urbanização que pode ser utilizada para subsidiar

a ocupação da área de expansão da Unicamp. A metodologia aplicada utilizando a lógica *fuzzy* se mostrou eficiente quanto a caracterização das classes geotécnicas, resultando num documento orientativo para o uso e ocupação urbana, de fácil acesso e entendimento.

A Carta geotécnica de aptidão à urbanização apresenta elementos básicos do terreno, contém a descrição sucinta das unidades geotécnicas identificadas na área mapeada, que foram caracterizadas em termos de comportamento homogêneo frente a distintas formas de uso e ocupação do solo esperado em seu domínio, e apresenta diretrizes orientativas para eventuais

intervenções no ambiente.

Apesar do estado natural da área ter sido modificado pela atividade agrícola, observou-se que a área ainda apresenta características naturais quando comparada com o restante do campus universitário já bastante edificado.

A metodologia empregada se adequou bem ao tipo de terreno com pouca intervenção urbana, constituindo, portanto, um procedimento metodológico que pode ser aplicado em áreas de expansão urbana.

Pretende-se que a carta de aptidão urbana subsidie futuras pesquisas, utilizando a lógica *fuzzy* como um procedimento metodológico orientador.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 6508**: Massa específica dos sólidos. Rio de Janeiro. 1984 (norma NBR 6508 de 10/1984).
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR-6459**: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro. 1984 limites de Atterberg (norma ABNT, NBR-6459 e NBR-7180).
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR-7181**: Análise granulométrica. Rio de Janeiro. 1984. ensaio de granulometria (norma NBR 7181/1984 da ABNT).
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR-7182**: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro. 1986. ensaio de compactação (norma ABNT NBR 7182/86).
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 9820**: Ensaio de índices físicos do solo. Rio de Janeiro. 1997 (NBR 9820 de 09/1997).
- ALVARENGA, T.A. & LADEIRA, F.S.B. Mapeamento Detalhado dos Solos da Fazenda Argentina (Campinas-SP). In: XXVI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP. Campinas, 2018. *Atas...*Campinas: UNICAMP, 2018.
- BITAR, O.Y. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. ABGE/IPDIGEO. (Coord.). São Paulo. **Série Meio Ambiente**, p. 187-202, 1995.
- BRASIL. **LEI Nº 12.608**, DE 10 DE ABRIL DE 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC.
- CAMARA, G.E & MEDEIROS, J.S. Geoprocessamento para Projetos Ambientais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (96 e 98). P.1. 1998.
- FERNANDES, A.J.; AZEVEDO SOBRINHO, J.M.; TEIXEIRA, A.L. **Mapa geológico do Município de Campinas. In: Instituto Geológico. Subsídios do meio-físico-geológico ao planejamento do município de Campinas (SP)**. São Paulo. Relatório Técnico IG, 3 v. 34 pp. 1993.
- GON, F. S. **Caracterização geotécnica através de ensaios de laboratório de um solo de diabásio da região de Campinas/SP**. Faculdade de Engenharia Civil-UNICAMP, 2010. 166 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, 2011.
- IG – Instituto Geológico. **Mapa geológico do município de Campinas e mapas de pontos de descrição geológica e de pontos de descrição geomorfológica**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente. 2009.
- PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 36 pp. 2006.
- SARAIVA, G.J.P. **Lógica Fuzzy**. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**. Rio de Janeiro, v. V-XII, n. 3, 2000.
- SEVÁ FILHO, A.O. **As águas de Barão Geraldo e as bacias dos rios das Pedras, Anhumas, Atibaia e Quilombo**. Disponível em: <[http://baraoemfoco.com.br/barao/barao/aguas/aguas\\_de\\_barao.htm](http://baraoemfoco.com.br/barao/barao/aguas/aguas_de_barao.htm)> Acesso em: 24 de junho. 2019. 12pp. 2001.
- SILVA, P.J. **Classificação geotécnica dos solos da Fazenda Argentina – Campus da UNICAMP, Campinas, 2018**. 46 pp. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia), Instituto de Geociências, UNICAMP.
- SILVA, S.F. **Zoneamento Geoambiental com Auxílio de Lógica FUZZY e Proposta de um Geoindicador para Caracterização do Meio Físico da Bacia do Rio do Peixe**. Tese de Doutorado em Geotecnia, 2005. 394 pp. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- YOSHINAGA, S. & SILVA, A.A.K. Condições de ocorrência das águas subterrâneas e do potencial produtivo dos sistemas aquíferos na região metropolitana de Campinas – SP. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 18, n. 1/2, p. 23-40, 1997.
- ZADEH, L.A & JAMSHIDI– Applications of *Fuzzy Logic*: Towards High Machine Intelligence Quotient Systems. Series on Environmental and Intelligent Manufacturing. Prentice Hall. 423 p. 1997.

Recebido em 6 de novembro de 2020  
Aceito para publicação em 4 de novembro de 2021