

## The Relationship Between Green Areas and Slope: Case Study the City of Prague

### *A Relação entre Áreas Verdes e Declividade: Estudo de Caso da Cidade de Praga*

This paper focuses on the case study of Prague, the capital the Czech Republic with the aim of identify and analyzing the urban green areas. The paper study the relationship between impervious (built areas) and pervious areas (green areas) with topographical features in the city. The methodology applied was NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) index using the Sentinel-2 image (10 meters resolution) with free access to data. After this initial filtering, was analyze the correlation between pervious and impervious areas with slope conditions using as method the combinatorial analysis to produce the maps describing the relationship between green areas and percentage of slopes. The resulting maps indicate a correlation between land use, green areas, and topography.

*Este artigo tem como foco o estudo de caso de Praga, a capital da República Tcheca, com o objetivo de identificar e analisar as áreas verdes urbanas. O artigo estuda a relação entre áreas impermeáveis (áreas construídas) e áreas permeáveis (áreas verdes) relacionadas com a características topográficas da cidade. A metodologia aplicada foi o índice NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) usando a imagem Sentinel-2 (resolução de 10 metros) com acesso gratuito de dados. Assim, foi analisada a correlação entre áreas permeáveis e impermeáveis com condições de declividade utilizando como método a análise combinatória para produzir os mapas descrevendo a relação entre áreas verdes e porcentagem de declives. Os mapas resultantes indicam uma correlação entre uso da terra, áreas verdes e topografia.*



#### Nicole Andrade da Rocha

Graduated in Architecture and Urbanism from Federal University of Juiz de Fora (2012), Specialization in Design (2014) and master's degree in Built Environment (2015). Currently PhD student in Architecture and Urbanism. Experience in Urban Planning with emphasis on spatial analysis, GIS and Green Infrastructure.



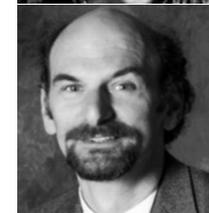
#### Ana Clara Mourão Moura

Graduated in Architecture and Urban Planning, Specialization in Territorial and Urban Planning from PUC-MG and University of Bologna, Master in Geography from UFMG and PhD in Geography from UFRJ. Professor at UFMG, Department of Urban Planning, and coordinates Geoprocessing Laboratory in the School of Architecture.



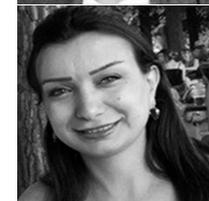
#### Henry W. A. Hanson IV

Bachelor of Landscape Architecture and Bachelor of Science in Landscape Architecture at Carnegie Mellon University. Master of Architecture. Worked in a multidisciplinary design firm focusing on planning and development of urban environments. Currently he is professor at the Czech Technical University.



#### Peter Kumble

Bachelor of Landscape Architecture at University of Arizona. PhD, Landscape Ecology at Czech University of Life Science. Professor at University of Massachusetts Dept of Landscape Architecture and Regional Planning until 2012. Currently he is associate Professor Czech University of Life Sciences Prague.



#### Jenan Hussein

Graduated in Architect Tishreen University Syria, Specialist in Urban and Environmental Science in Coastal areas, Master in Landscape Planning from Tishreen University, Syr & Mater in Urban planning and design – VUT-Prague, PhD candidate Czech University of Life Science-Pague-Department of land use and improvement

Keywords:

Urban Ecosystems, NDVI, Combinatorial analysis, Green infrastructure

Palavras-chave:

Ecossistemas Urbanos, NDVI, Análise Combinatória, Infraestrutura Verde

## 1. INTRODUCTION

Aware that humanity is increasingly urban, it is necessary to think of means to achieve sustainable maintenance the landscape in the cities, seeking to conserve its exists natural resources by integrating ecological sustainability goals, urban ecosystems, landscape ecology, and green infrastructure concepts applied in the urban land use. Cities are dependent on ecosystems that extend far beyond the city limits as well as internal urban ecosystems. As more and more people live in cities, restoration, preservation and enhancement of biodiversity in urban areas become critical to urban resilience and ultimately to urban survival, once that we are all connected in a holistic way. Concepts related to biodiversity management such as scale, hierarchy, species identity, species values, and fragmentation, it is global approaches can be used to manage urban biodiversity (Forman & Gordan, 1986; Forman, 2002; European Commission,2013; Herzog, 2013; Rottenbacher, 2014).

Understanding the language of landscape ecology is essential to making planning decisions that enhance the ecological function of an area, especially in cities areas that tend to be increasingly artificial, understanding everybody is included in the holistic systems of life on earth, mainly human beings who are the responsible for the major changes that take place in the landscape. This ability is described by Marina Alberti (2005) as “the ability of earth’s processes to sustain life over a long period of time. Biodiversity is essential for the functioning and sustainability of an ecosystem. Different species play specific functions, and changes in species composition, species richness, and functional type affect the efficiency with which resources are processed within an ecosystem”.

To achieve the ecological balance in cities, one way is through the green areas. Green areas can be understood as a landscape mosaic consisting of a “built” matrix containing corridors with smaller and fragmented patches, often functioning in the urban context as parks, cemeteries, schoolyards, backyards, as well as vacant lots and other interstitial spaces (Goddard et al., 2010). The habitat patches and green spaces of cities are often highly managed systems,

heavily influenced by human activity, where ecological functions are often highly interconnected with cultural functions (Rocha et al. 2017). Therefore, Urban Ecology added to the concepts of green infrastructure is an emerging field that seeks to study this complex structure and function of urban ecosystems, recognizing the important interactions of human and natural processes (Benedict & McMahon, 2006; Breuste et al., 2008; Herzog, 2013; Vasconcellos, 2015).

Additionally, green areas can serve as habitats that enhance natural processes such as water and air filtration, floodwater retention and climate regulation in cities (Hough, 1995). Trees contribute to microclimate regulation and absorption of excess water. Exposure to and activities in nature also have beneficial effects on humans (Anderson et al., 1984; Oke, 1989; Nowak, 1993; Pauleit & Duhme, 2000; Swanwick et al., 2003; Seitz & Escobedo, 2008).

In that way, green infrastructure proposes a holistic and systematic vision of cities, seeking to transform discrete urban spaces into a multifunctional network interconnected through green patches and/or permeable patches; to transform impervious areas into places that maintain the dynamic sustainable urban ecosystem equilibrium. In areas of urban sprawl, the strategic goal is to preserve the integrity of natural resource systems with conservation areas and protected areas. Green infrastructure can be applied at a local, municipal, state, regional and even national scale, depending on the research interest (Benedict & McMahon, 2006; Herzog, 2013).

Thus, to achieve the concepts about Landscape Ecology and Green Infrastructure applied to in an urban environment, it is necessary to research, analyze and diagnose the existing reality, for then propose to guidelines to urban space seeking to establish solid and achievable targets. In that way, this study proposes the application of these concepts applied to land use to conserve and protect urban green areas identifying the exists green patches and where they are localized. Seeking discuss and analyze the relationship between pervious areas (green areas), impervious areas (built areas) and slope and their relationship with landscape morphology using like study case the city of Prague through as a base methodology

for drafting master plans and urban landscape management, adding the natural aspects in order to increase quality of life and environmental in the cities.

## 2. CASE STUDY

This case study focuses on Prague, the capital and largest city of Czech Republic with a population of 1,280,508 inhabitants according to Statistical Yearbook of Prague 2017, ranking the 14th largest city in the European Union and included in the UNESCO list of World Heritage Sites. The city was founded in the 6<sup>th</sup> century and is located on the Vltava River, in the center of the Bohemian Basin. (Figure 1).

Starting from the historic core straddling the Vltava River Prague has expanded East and West along stream corridors and over the hillsides that separate the stream valleys with higher preference for South facing slopes. Significant areas of steep hillsides remain less intensively developed with primarily old orchards and vineyards, many of which have been abandoned and are in various stages of natural succession. Residual green areas within the historic fabric primarily include chateau gardens, urban parks and cemeteries.

To keep the green areas protected, Czech Republic [1] government developed the concept of územní systém ekologické stability (USES)[2], to avoid confusion with the word in English “uses” we will adopt the concept of creating a “territorial systems of ecological stability” (TSES). TSES is based on landscape

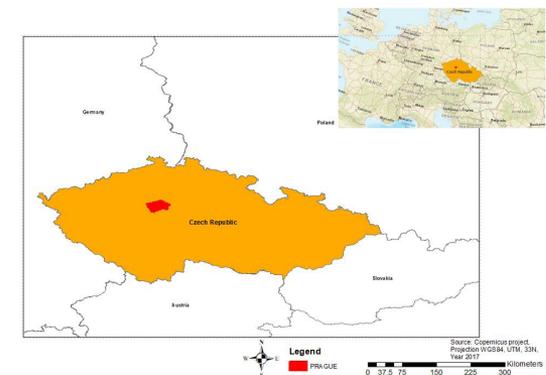


Figure 1 - Prague- Czech Republic. Source: Authors.

ecological knowledge and landscape planning procedures. As a result, creating an ecological network in the landscape consists of all existing and proposed landscape segments of ecological significance that can contribute to the conservation of landscape biodiversity (Görner et al., 2011).

The objective of planning and developing TSES in the Czech Republic is to protect the existent green areas and ecological stability and to promote the biodiversity in the landscape. The TSES is defined as an interconnected system of, natural and altered yet still near-natural ecosystems, which maintain a natural balance. Basic types of TSES components at the local level are the interactive elements (Görner et al., 2011).

TSES is further subdivided into functional and nonfunctional bio corridors. Nonfunctional bio corridors are recognized as critical components of the biocorridor network that should be transformed into functional bio corridors. The TSES concept is used for small areas of natural communities with favorable conditions for the existence of wildlife significantly affecting the functions of ecosystems in the cultural landscape (Görner et al., 2011).

### 3. METHODOLOGY

The methodology developed in this paper consisted of four steps (Figure 2). The first step was download the free access data, the Sentinel imagery [3] and SRTM imagery [4] collected in the year 2017. Data acquisition was followed by the preprocessing of the images obtained from the Sentinel images, the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

map (see 3.1) and the land use map were produced also in this step that the slope map was produced from the SRTM image (see 3.2). Already in the processing stage, from the Land Use and Slope maps the combinatorial analysis was applied, producing a map with the relation green areas, built areas and slope. The final step was to produce the analysis mapping from the result of the combinatorial analysis.

The satellite image was obtained through the Sentinel-2 satellite of the Copernicus Mission elaborated by the European community, with resolution of 10 meters. The objective of this satellite is to monitor the variability of terrestrial surface conditions with its wide range of capture and high time of re-visitation (10 days at the equator with one satellite and 5 days with 2 satellites under cloudless conditions that result in 2 to 3 days in latitudes) to monitor changes in vegetation during its growing season. The interesting thing about the use of Sentinel images is the possibility to acquire updated free images of the place according to each need with high resolution (Copernicus Mission, 2015).

The satellite performs systematic acquisition in a single observation mode, operating in 13 spectral bands, four of which are in the electromagnetic spectrum known as “visible.” The range of 13 spectral bands includes visible infrared and near infrared with different spatial resolutions ranging from 10 to 60 m. These special bands are present for vegetation monitoring: the Red-Edge 04 band and the near-infrared band 08, which can identify changes in chlorophyll levels and plant cell structure. Due to these characteristics, the Sentinel-2 satellite image is suitable to separate vegetation from

other land uses, as well as to classify different conditions of vegetation cover. The image presents a spatial resolution of 10m and is generated with 12 bits, that is, it presents 4096 shades of gray. These attributes favor the discrimination of different targets present on the surface.

#### 3.1 NDVI (NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX)

To apply the indices, the data was submitted to the pre-processing that prepared the information for processing by ArcGis © ESRI ©. Initially, bands NIR (infrared) band 8 and RED (red) band 4 were used to calculate NDVI via matrix algebra, according to the following formula (1):

$$NDVI = (p_{ivp} - p_v) / (p_{ivp} + p_v) \quad (1)$$

Where:  $p_{ivp}$  is the reflectance in the near infrared;  $p_v$  is the reflectance in the red.

The NDVI is based on the spectral signature of the target's behavior. Vegetation presents specific responses related to photosynthesis the process of absorbing solar radiation in the red range of the spectrum. The plants' cells reflect more strongly in the near infrared range. Variations in plant condition are identifiable due to the portions absorbed in the red and reflected in the infrared. We can associate them with other normalized indexes to make correlations and verify the studied place's ambiance as well as improving its management (Rouse et al., 1973; Myneni, 1995; Freire & Pacheco, 2005; Rocha, 2016).

The NDVI result it is a normalized index, the resulting image has values in shades of gray distributed between -1 and +1 values. When the result is closer to -1, it has a weaker spectral response in infrared bands, and we can conclude this is water, soil exposed, shadow, build areas and impermeable areas soil, all of which have a high coefficient of runoff. When the result is closer to +1 the stronger spectral response identifies the type of vegetation. (Figure 3).

Subsequently, from NDVI classification index was used to create the Land use map. To create the Land use map was used the supervised classification method “Natural Breaks” it is separating tendencies

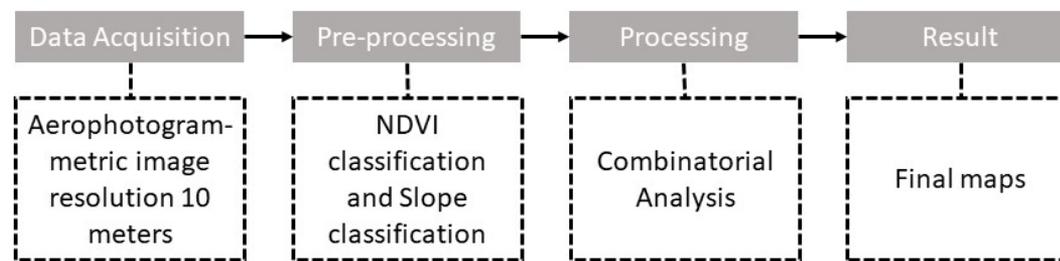


Figure 2 - Methodology. Source: Authors.

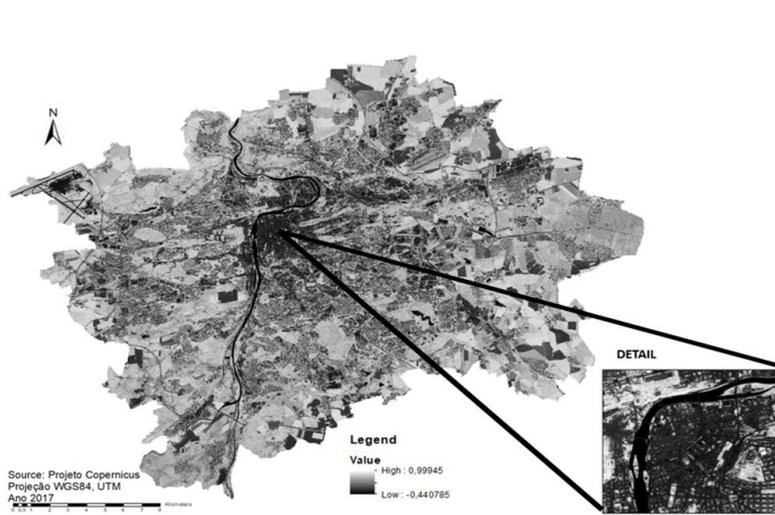


Figure 3 - NDVI map. Source: Authors.

which identifies divides the set of information into parts of similar behavior. The NDVI index was separate into 4 class: Pervious areas - Wooded areas, Pervious areas - shrubby vegetation, Pervious areas - grass vegetation, and Impermeable areas (water, soil exposed, built areas and shadow) (Figure 4).

### 3.3 SLOPE MAP

To produce the slope map, the SRTM image (NASA-Shuttle Radar Topography Mission) was used with 30 meters of resolution to extract contour lines at 5-meter levels.

The contour interval provides sufficient data give both the metropolitan scale of the study area and is compatible with the texture of the remote sensing data. Based on this topographic data we classified in accordance with general land development and functional parameters. The defined ranges of slope as 2%, 8%, 15%, 25% and greater than 25% (Figure 5).

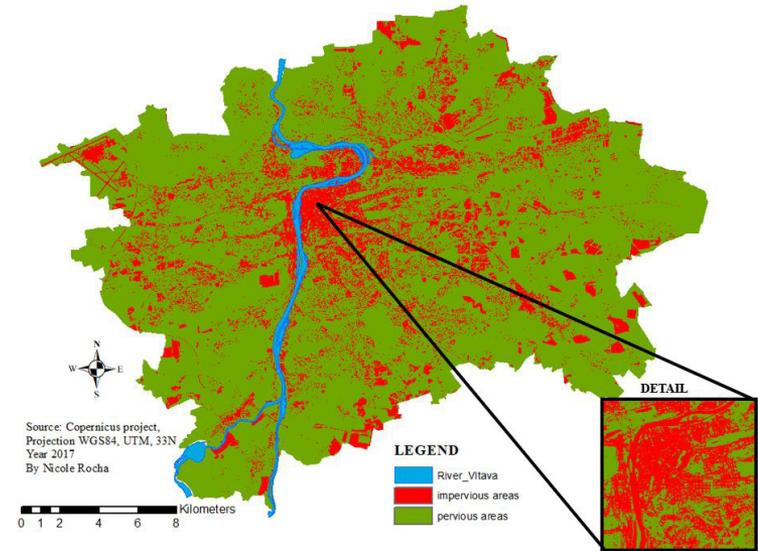


Figure 4 - Land use map – pervious and impervious areas. Source: Authors.

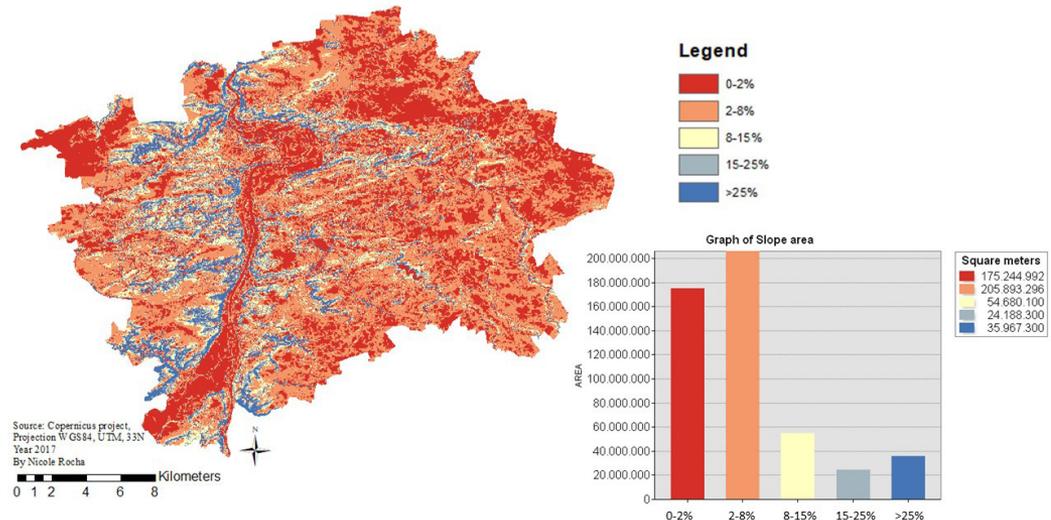


Figure 5 - Slope map. Source: Authors.

### 3.2 COMBINATORY ANALYSIS

To apply the Combinatorial Analysis, the Land use map was combined with the Slope map. According to Groenwald *et al.* (2009) *“Combinatory Analysis is the part of Mathematics that studies and develops methods for solving problems involving counting or existence, in general, it can be said that it is the part of Mathematics that analyzes discrete structures and relations”*. This method allows adequate aid for the analysis of the study with the combination of two variables (Rocha, 2016).

The Combinatory Analysis matrix (Figure 6), divided the land use into 4 categories: (1) impervious areas; and pervious areas was subdivided in 3 categories; (2) Grassy; (3) Shrubby; and (4) Wooded. The Slope map was initially divided into five categories: 0-2%, represent flood areas; 2-8% represents good areas to build; 8-15% suitable area to build; 15-25% areas not suitable to build; and above 25% protected areas. To facilitate the slope study, it was divided into three categories: 0-2% as Low; 2-15% as Medium; and 15- 25% as High.

### 4. RESULTS

When we comparison the result about Pervious and Impervious map (Figure 7), observing only the graph data we can to conclude there are an equilibrium between impervious area (indicates in yellow color in the graph) and wooded area (indicates in dark green color in the graph) indicating a good result for the urban space, because the wooded area are the biggest responsible for the benefits

acquired in close proximity to the green areas.

But when we analyze the result by looking at the map, we can see where the impervious areas (in the yellow color) is located, concentrated in the central area of the map and where the wooded areas are located, around the impermeable area, that is, the wooded areas do not integrate the built areas, segregating the coexistence of areas and people interact in these spaces.

From the result of the combinatorial analysis, we produced the slope area map with relationship between Impervious and Pervious area map (Figure 8). The map makes a comparison between low slope, medium slope, high slope areas with impervious areas, grass vegetation, shrubby vegetation and wooded vegetation. The map shows where the impervious areas are localized, as can be observe (in gradient blue colors) the lower the slope the more impervious areas we will have. And when higher the slope more wooded areas will have. In addition, wooded areas are close to the valley bottom areas (with high slope), near the main water courses the Vltava river. When we observe the classes of the combinatorial analysis table (Figure 9 and 10), are analyzed by slope from 0 to above 25%, it is possible to see where the slopes classified by grassy, shrubby and woody areas are localized. It's interesting to observe that most areas where is founded shrubby and woody areas are located in areas of 2 to 8% slope and above 25% slope. While most impervious areas are localized from 0% to 2% and from 8 to 15% which represent good and adequate areas to build, a place that has been occupied and that needs adequate urban

planning to guarantee the quality of this space.

Already when we analyze the Classes of Combinatorial analysis are considered by land use (Figure 11), it is easier to localize in the map the classes of wooded vegetation (gray gradient), the shrubby vegetation (green gradient), the grassy vegetation (orange gradient) and to localize the impervious areas (pink gradient) in comparison the slope classification (High, medium and low). This highlights the areas are in pink gradient localized in steepest slope and concentrated in low slope areas.

The Classes of combinatorial analysis (Figure 12 and Figure 13), shows where the pervious and impervious areas are located in comparison to the slope and with the table that shows how often these phenomena happen highlights medium slope and pervious area.

It's interesting to highlight the graph on Figure 12 where it's possible see more frequency of slope with pervious areas than slope area with impervious areas. And when we analyze the graph on Figure 13, it's observed the high frequency of medium and high slope with pervious areas by region in Prague, but there are some regions that need attention because of wooded area, low slope and impervious area.

The map on Figure 14 shows the classes of combinatorial analysis in accordance with TSES pervious and impervious areas. Most of TSES areas are located in high and medium slope, that are areas where it is not usual to build. Moreover, the TSES are in impervious areas with medium and low slope, corresponding to the proximity of Vltava river (non-occupancy area).

The distributions of slope types and pervious or impervious areas per regions in Prague, we can see as the high, medium and the low slope is distribution associated with impervious and pervious areas (Figure 15). The lowest slope and impervious area are in the central area, corresponding to the first developed region of the city. In addition, the most pervious areas are located in the south, west, southwest and southeast regions (Figure 16).

SLOPE	(IM)Pervious	IMPERVIOUS	Pervious Grassy	Pervious Shrubby	Pervious Main Wooded
		1	2	3	4
0 - 2%	100	101	102	103	104
2 - 8%	110	111	112	113	114
8 - 15%	120	121	122	123	124
15 - 25%	130	131	132	133	134
>25%	140	141	142	143	144

Figure 6 - Combinatory Analysis. Source: Authors.

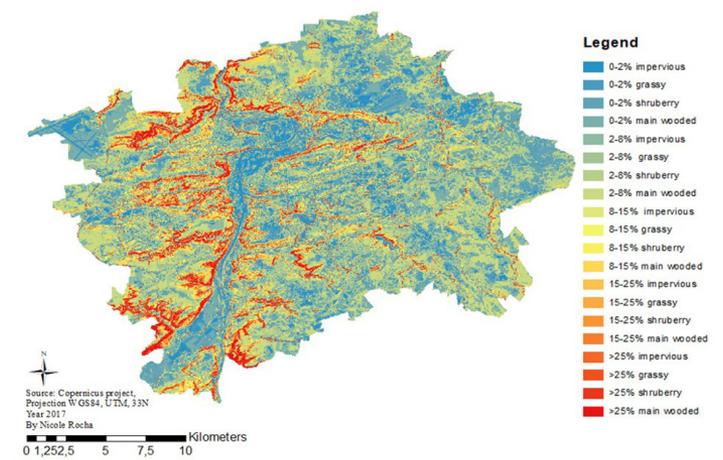
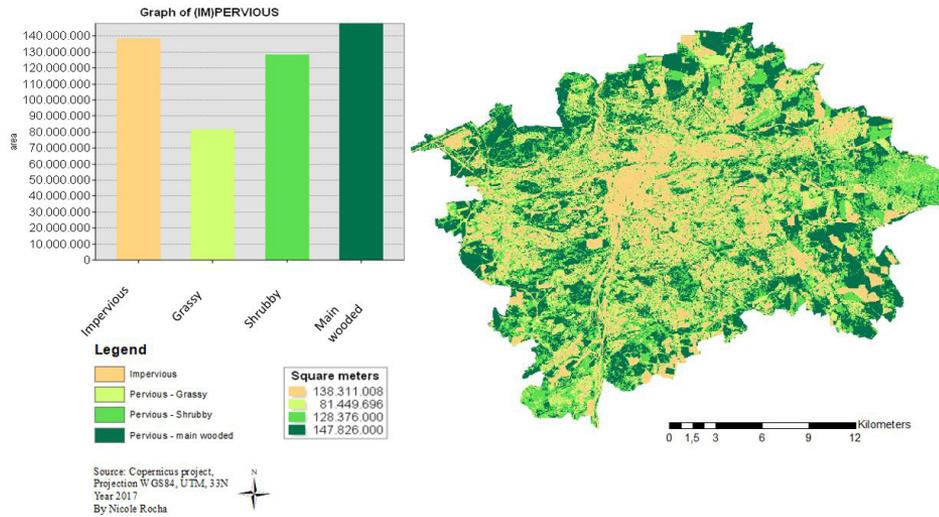


Figure 7 - Impervious and Pervious areas map. Source: Authors.

Figure 8 - Slope and Impervious and Pervious areas map. Source: Authors.

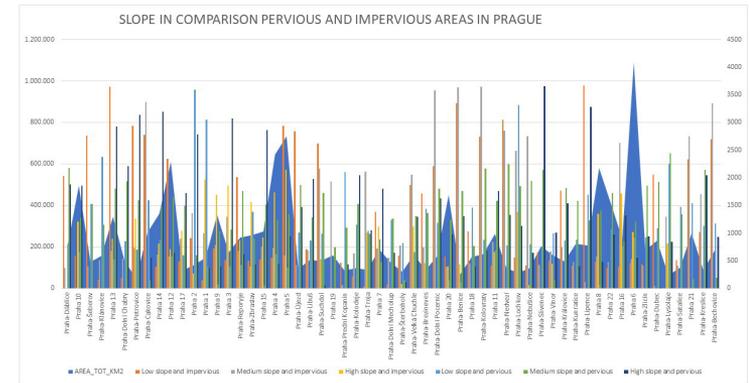
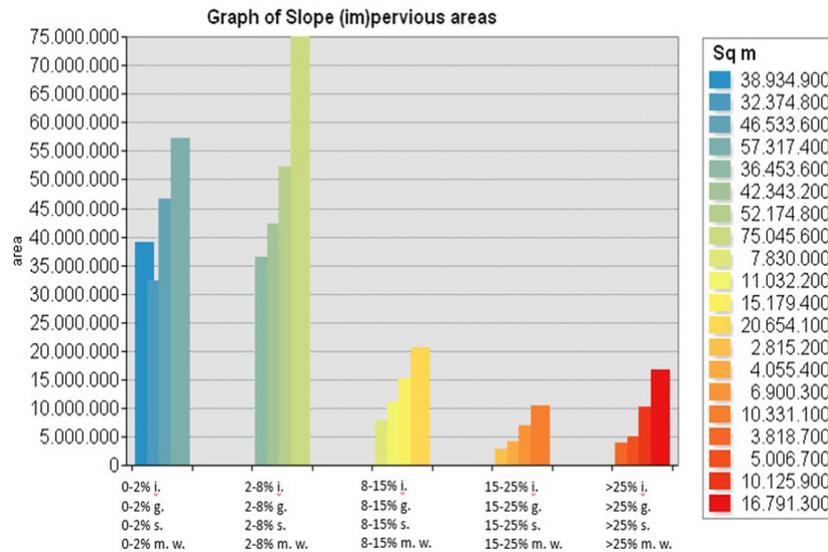


Figure 9 - Classes of combinatory analysis table. Source: authors.

Figure 10 - Slope in comparison pervious and impervious areas in Prague. Source: authors.

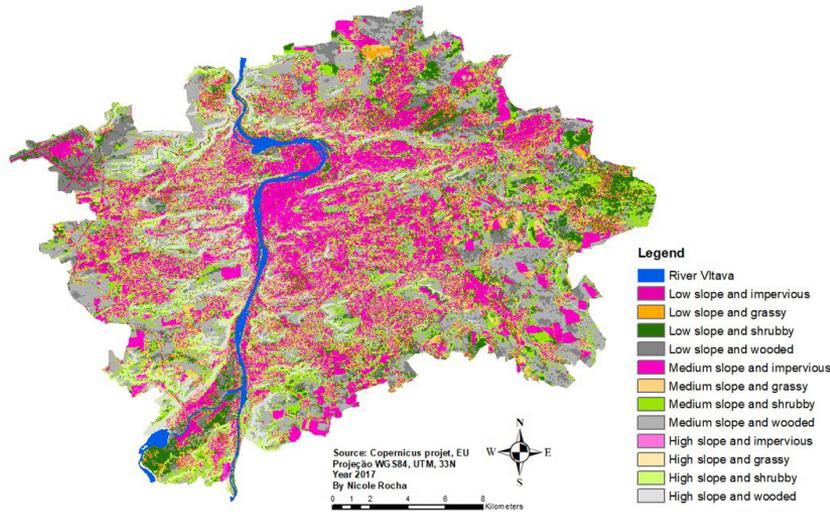


Figure 11 - Classes of combinatory analysis Land use map. Source: authors.

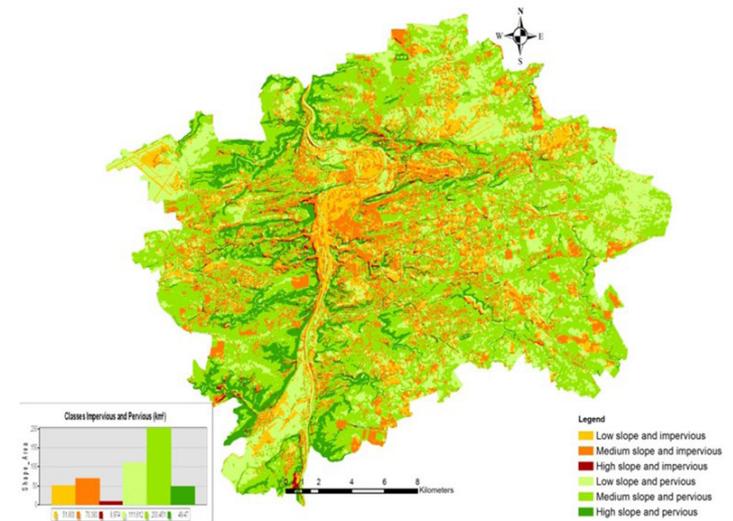


Figure 12 - Classes of combinatory analysis Pervious and Impervious map. Source: authors.

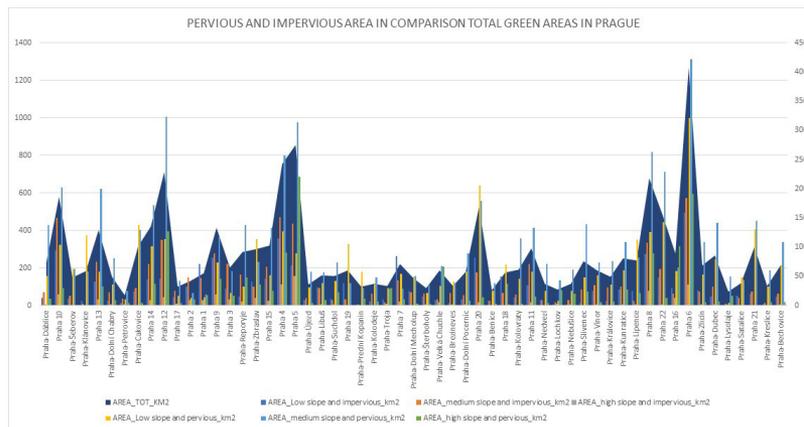


Figure 13 - Pervious and impervious areas in comparison total green areas in Prague. Source:

authors. <http://disegnarecon.univaq.it>

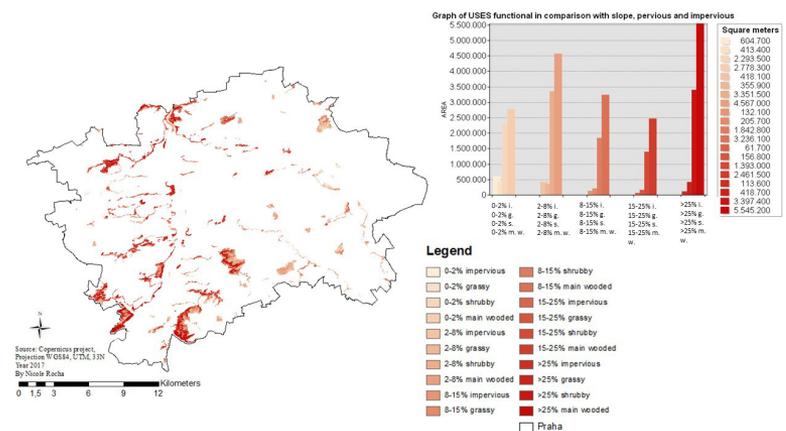


Figure 14 - USES function in comparison with slope, pervious and impervious areas. Source: authors.



in order to encourage the interaction between built and natural environment, in order to provide quality of life to people and the environment. to provide quality of life for people and the environmental.

## ACKNOWLEDGMENTS

With the support of Ph.D. scholarships - CAPES/PDSE Edital nº 19/2016 (Processo: Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior) – nº {88881.133171/2016-01} and with the support of Ph.D. scholarships – IGA-FZP-2017 nº {20174233}.

## NOTES:

[1]. <https://www.czso.cz/csu/czso/4-population-blshc8lnp>

[2]. USES is that acronym for the Czech term; however, it is sometime confused for the English word 'uses' therefore, the term Territorial System of Ecological Stability (TSES) is often used to avoid confusion. The term TSES is used in this text referring to the Czech term územní systém ekologické stability (USES).

[3]. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

[4]. <https://earthexplorer.usgs.gov/>

## REFERENCES:

Alberti, M. (2005). The effects of urban pattern on ecosystem function. *International Regional Science Review*, 28 (2), 168-192.

Andersson, E., Barthel, S., Borgström, S. & Colding, J. (2014). Reconnecting

Cities to the Biosphere: Stewardship of Green Infrastructure and Urban Ecosystem Services. *AMBIO*, 43, 445-453.

Breuste, J., Niemela, J. & Snep, R. (2008). Applying landscape ecological principles in urban environments. *Landscape Ecology*, 23, 1139-1142. CORPENICUS MISSION. Website: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Overview4](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4). Access: 05/06/2017.

EUROPEAN COMMISSION. (2013). *Building a Green infrastructure for Europe*. Cataloguing data. European Union.

Forman, R.T.T. & Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. John Wiley & Sons, New York.

Forman, R. (2002). The missing catalyst: design and planning with ecology roots. Editors Bart Johnson and Kristina Hill. *Ecology and Design: Frameworks for Learning*. Island Press.

Freire, N. C. F. & Pacheco, A. P. (1994). Aspectos da detecção de áreas de risco à desertificação na região

de Xingó. XII. Paper presented at *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Anais, INPE, Brasil.

Goddard, M.A., Dougill A.J. & Benton, T.G. (2010). Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends Ecol Evol*, 25, 90-98.

Görner, T. & Kosejk, J. (2011). *Territorial system of ecological stability (TSES) in the Czech Republic*. Agency for Nature Conservation and Landscape Protection of the Czech Republic. [www.gdos.gov.pl](http://www.gdos.gov.pl).

Groenwald, C. L., Oliveira, N. Z., Homa, L. & Ryokiti, A. I. (2009). Didactic Sequence with Combinatory Analysis according to the SCORM Standard. *Bolema*, 22(34), 27-56.

Hergoz, C. P. (2013). *Cidades: (re) aprendendo a conviver com a natureza*. Rio de Janeiro, Maud X: Inverde.

Nowak, D.J., (1993). Atmospheric carbon reduction by urban trees. *Journal of Environmental Management*, 37, 207-217

Oke, T.R. (1989). The micrometeorology of the urban forest. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.*, 324(1223), 335-348.

Pauleit, S. & Kaliszuk, E. (2005). An ecological approach to green structure planning: Green structure patterns. *COST Action C11, Final report, European Commission*, <http://www.greenstructureplanning.eu/COSTC11-book/index.htm> (accessed 1 December 2009).

Myneni, R.B., Hall, F.G., Sellers, P.J. & Marshak, A.L. (1995). The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33, 481-486.

Rocha, N.A., Sena, I.S., Fonseca, B. M. & Moura, A. C. M. (2016). Association between a spectral index and a

landscape index for mapping and analysis of urban vegetation cover. In: *9th International Conference on Innovation in Urban and Regional Planning e-aporã* for the transition toward resilient communities, Torino.

Rocha, N. A., Sena, I. S., Casagrande, P.B., Magalhães, M. C., Fonseca, B. M. & Moura, A. C. M. (2017). Studies of volumetric relation between vegetation and buildings using LIDAR data and NDVI to propose urban parameters. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(8), 1456-1475.

Rottenbacher, C. & Cassidy, T. (2014). *Identifying Cultural Ecosystem Services of Urban Green Infrastructure* Report about a pilot project undertaken in Lower Austria. REAL CORP, Vienna.

Rouse, J.W., Haas, R.H. And Schell, J.A. & Deering, D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third Symposium of ERTS*, Greenbelt, Maryland, USA. NASA SP-351 (1), 309-317.

Seitz, J. & Escobedo, F., (2008). *Urban forests in Florida: trees control stormwater runoff and improve water quality*. School of Forest Resources and Conservation Department, University of Florida. <http://edis.ifas.ufl.edu> (accessed 1 December 2009).

Swanwick, C., Dunnett, N. & Woolley, H., (2003): Nature, role and value of green space in towns and cities: an overview. *Built Environment*, 29(2), 94-106

Vasconcellos, A. A. 2015. *Infraestrutura verde aplicada ao planejamento da ocupação urbana*. Curitiba: Appri.

Workshop on Volunteered Geographic Information, Santa Barbara, California, USA.

## ***A Relação entre Áreas Verdes e Declividade: Estudo de Caso da Cidade de Praga***

### 1. INTRODUÇÃO

Consciente de que a humanidade é cada vez mais urbana, faz-se necessário repensar em meios para alcançar a manutenção sustentável da paisagem nas cidades, buscando conservar seus recursos naturais integrando metas de sustentabilidade ecológica, ecossistemas urbanos, ecologia paisagística e conceitos de infraestrutura verde aplicados no uso do solo urbano. As cidades dependem de ecossistemas que se estendem muito além dos limites da cidade e dos ecossistemas urbanos internos. À medida que mais e mais pessoas vivem nas cidades, a restauração, a preservação e a melhoria da biodiversidade em áreas urbanas tornam-se críticas para a resiliência urbana e, finalmente, para a sobrevivência nas cidades, uma vez que estamos todos conectados de maneira holística. Conceitos relacionados à gestão da biodiversidade, como escala, hierarquia, identidade de espécies, valores de espécies e fragmentação, são abordagens globais que podem

ser usadas para gerenciar a biodiversidade urbana (Forman & Gordan, 1986; Forman, 2002; European Commission, 2013; Herzog, 2013; Rottenbacher, 2014).

Entender a linguagem da ecologia da paisagem é essencial para tomar decisões de planejamento que melhorem a função ecológica de uma área, especialmente em áreas urbanas que tendem a ser cada vez mais artificiais e entendendo que todos estão incluídos em um sistema holístico de vida na Terra, principalmente seres humanos, estes que são responsáveis pelas principais mudanças que ocorrem na paisagem. Essa habilidade é descrita por Marina Alberti (2005) como “a capacidade dos processos da Terra de sustentar a vida por um longo período de tempo. A biodiversidade é essencial para o funcionamento e a sustentabilidade de um ecossistema. Diferentes espécies desempenham funções específicas, e mudanças na composição de espécies, riqueza de espécies e tipo funcional afetam a eficiência com que os

recursos são processados dentro de um ecossistema”.

Para alcançar o equilíbrio ecológico nas cidades, um caminho é através das áreas verdes que podem ser entendidas como um mosaico de paisagem composto por uma “matriz construída” contendo corredores com fragmentos menores e fragmentados, muitas vezes funcionando no contexto urbano como parques, cemitérios, pátios, quintais, bem como terrenos baldios e outros espaços intersticiais. (Goddard et al., 2010). Os fragmentos de habitats e os espaços verdes das cidades são frequentemente sistemas altamente gerenciados, fortemente influenciados pela atividade humana, onde as funções ecológicas são frequentemente altamente interconectadas com funções culturais (Rocha et al., 2017). Por isso, a Ecologia Urbana agregada aos conceitos de Infraestrutura Verde é um campo emergente que busca estudar essa complexa estrutura e função dos ecossistemas urbanos, reconhecendo as importantes interações de processos

humanos e naturais (Benedict & McMahon, 2006; Breuste et al., 2008; Herzog, 2013; Vasconcellos, 2015).

Além disso, as áreas verdes podem servir como habitats que melhoram os processos naturais, como filtragem de água e ar, retenção de água de enchente e regulação do clima nas cidades (HOUGH, 1995). As árvores contribuem para o microclima da regulação e absorção do excesso de água. A exposição e as atividades na natureza também têm efeitos benéficos em humanos (Anderson et al., 1984; Oke, 1989; Nowak, 1993; Pauleit & Duhme, 2000; Swanwick et al., 2003; Seitz & Escobedo, 2008).

Dessa forma, a infraestrutura verde propõe uma visão holística e sistemática das cidades, buscando transformar espaços urbanos discretos em uma rede multifuncional interligada por manchas verdes e / ou manchas permeáveis; transformando as áreas impermeáveis em lugares mais adequados para o equilíbrio dinâmico e sustentável dos ecossistemas urbanos. Em áreas de expansão urbana, o objetivo estratégico é preservar a integridade dos sistemas de recursos naturais com áreas de conservação e áreas protegidas. A infraestrutura verde pode ser aplicada em escala local, municipal, estadual, regional e até nacional, dependendo do interesse da pesquisa (Benedict & McMahon, 2006; Herzog, 2013).

Assim, para alcançar os conceitos de Ecologia da Paisagem e Infraestrutura Verde aplicados em um ambiente urbano, é necessário pesquisar, analisar e diagnosticar a realidade existente, para então propor diretrizes ao espaço urbano buscando estabelecer metas sólidas e realizáveis. Dessa forma, este estudo propõe a aplicação destes conceitos aplicados ao uso do solo para conservar e proteger áreas verdes urbanas identificando as manchas verdes existentes e onde estão localizadas. Buscando discutir e analisar a relação entre áreas permeáveis (áreas verdes), áreas impermeáveis (áreas construídas) e declividade existente e sua conexão com a morfologia da paisagem usando como estudo de caso a cidade de Praga como metodologia base para a elaboração de planos diretores e gestão da paisagem urbana, adicionando os aspectos naturais para aumentar a qualidade de vida e o meio ambiente nas cidades.

## 2. ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso se concentra em Praga, a capital e maior cidade da República Tcheca, com uma população de 1.280.508 habitantes, segundo o Anuário Estatístico de Praga 2017, ocupando a 14ª maior cidade da União Europeia e incluída na lista da UNESCO como Patrimônio Mundial. A cidade foi fundada no século VI e está localizada margens do rio Vltava, no centro da Bacia da Boêmia. (Figura 1).

Figura 1 - Praga, República Tcheca. Font: os autores.

A partir do núcleo histórico que atravessa o rio Vltava, Praga expandiu o leste e o oeste ao longo dos corredores e nas encostas que separam os vales do córrego, com maior preferência pelas encostas viradas a sul. Áreas significativas de encostas íngremes continuam a ser desenvolvidas de forma menos intensiva, principalmente com pomares e vinhas antigas, muitas das quais foram abandonadas e estão em vários estágios de sucessão natural. As áreas verdes residuais dentro do tecido histórico incluem principalmente jardins chateau, parques urbanos e cemitérios.

Para manter as áreas verdes protegidas, o governo da República Tcheca desenvolveu o conceito de estabilidade estável (USES), para evitar confusão com a palavra em inglês “uses” adotaremos o conceito de criação de “sistemas territoriais de estabilidade ecológica” (TSES). A TSES baseia-se no conhecimento ecológico da paisagem e nos procedimentos de planejamento paisagístico. Como resultado, a criação de uma rede ecológica na paisagem consiste em todos os segmentos de paisagem existentes e propostos de significância ecológica que podem contribuir para a conservação da biodiversidade da paisagem (Görner et al., 2011).

O objetivo do planejamento e desenvolvimento das TSES na República Tcheca é proteger as áreas verdes existentes e a estabilidade ecológica promovendo a biodiversidade na paisagem. A TSES é definida como um sistema interligado de ecossistemas naturais e pouco alterado, mas que mantém um equilíbrio

natural. Tipos básicos de componentes da TSES no nível local são os elementos interativos (Görner et al., 2011).

A TSES subdivide-se em biocorredores funcionais e não funcionais. Os biocorredores não funcionais são reconhecidos como componentes críticos da rede do biocorredor que devem ser transformados em biocorredores funcionais. O conceito TSES é usado para pequenas áreas de comunidades naturais com condições favoráveis para a existência de vida selvagem, afetando significativamente as funções dos ecossistemas na paisagem cultural (Görner et al., 2011).

## 3. METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida neste trabalho consistiu em quatro etapas (Figura 2). O primeiro passo foi a aquisição de dados de acesso livre, com a imagem de Sentinel-2[1] e a imagem de SRTM[2] coletados no ano de 2017. A aquisição de dados foi seguida pelo pré-processamento das imagens obtidas, a partir das imagens de Sentinel produziu-se o primeiro o mapa NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) (veja 3.1) e posteriormente o mapa de uso do solo, foi também nessa etapa que se produziu a partir da imagem SRTM o mapa de declividade (veja 3.2). Já na etapa de processamento, a partir dos mapas de Uso do Solo e de Declividade aplicou-se a análise combinatória, produzindo um mapa com a relação áreas verdes, áreas construídas e declividade. O passo final foi produzir o mapeamento de análise a partir do resultado da análise combinatória.

Figura 2 - Metodologia. Fonte: os autores.

A imagem de satélite foi obtida através do satélite Sentinel-2 da Missão Copernicus elaborado pela comunidade europeia, com resolução de 10 metros. Este satélite tem como missão monitorar a variabilidade das condições da superfície terrestre com sua ampla faixa de captura e alto tempo de revisitação (10 dias no equador com um satélite e 5 dias com 2 satélites sob condições sem nuvens que resultam em 2 a 3 dias em latitudes médias) apoiar o monitoramento

de mudanças na vegetação durante sua estação de crescimento. O interessante sobre o uso de imagens do Sentinel é a possibilidade de adquirir imagens gratuitas atualizadas do local de acordo com cada necessidade com alta resolução (Corpenicus Mission, 2015).

O satélite realiza aquisições sistemáticas em um único modo de observação, operando em 13 bandas espectrais, quatro das quais estão no espectro eletromagnético conhecido como “visível”. O intervalo de 13 bandas espectrais inclui o infravermelho visível e o infravermelho próximo com diferentes resoluções espaciais que variam de 10 a 60 m. Essas bandas especiais estão presentes para o monitoramento da vegetação: a faixa 04 do Red-Edge e a faixa 08 do infravermelho próximo, que podem identificar mudanças nos níveis de clorofila e na estrutura celular da planta. Devido a estas características, a imagem do satélite Sentinel-2 é adequada para separar a vegetação de outros usos do solo, bem como para classificar diferentes condições de cobertura vegetal. A imagem apresenta uma resolução espacial de 10m e é gerada com 12 bits, ou seja, apresenta 4096 tons de cinza. Esses atributos favorecem a discriminação de diferentes alvos presentes na superfície.

### 3.1 NDVI (ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA)

Para aplicar os índices, os dados foram submetidos ao pré-processamento que preparou as informações para processamento pelo ArcGis © ESRI ©. Inicialmente, as bandas NIR (infravermelho) banda 8 e RED (vermelho) banda 4 foram utilizadas para o cálculo do NDVI via álgebra matricial, de acordo com a seguinte fórmula (1):

$$NDVI = (pivp - pv) / (pivp + pv) \quad (1)$$

Onde: pivp é a refletância no infravermelho próximo; pv é a refletância no vermelho.

O NDVI é baseado na assinatura espectral do comportamento do alvo. A vegetação apresenta respostas específicas relacionadas à fotossíntese no processo de absorção da radiação solar na faixa vermelha do espectro. As células das plantas refletem mais fortemente na faixa do infravermelho

próximo. Variações na condição da planta são identificáveis devido às porções absorvidas no vermelho e refletidas no infravermelho. Podemos associá-los a outros índices normalizados para fazer correlações e verificar o ambiente do local estudado, bem como melhorar sua gestão (Rouse et. al., 1973; Myneni, 1995; Freire & Pacheco, 2005; Rocha, 2016).

O resultado do NDVI é um índice normalizado, a imagem resultante tem valores em tons de cinza distribuídos entre os valores -1 e +1. Quando o resultado é mais próximo de -1, há uma resposta espectral mais fraca nas bandas infravermelhas, e podemos concluir que é água, solo exposto, sombra, áreas de construção e áreas impermeáveis ao solo, todas com alto coeficiente de escoamento. Quando o resultado é mais próximo de +1, a resposta espectral mais forte identifica o tipo de vegetação. (Figura 3).

Figura 3 - Mapa NDVI . Fonte: os autores.

Posteriormente, o índice de classificação NDVI foi utilizado para criar o mapa de uso do solo. Para criar o mapa de uso do solo foi utilizado o método de classificação supervisionada “Natural Breaks”, que separa tendências que identificam o conjunto de informações em partes de comportamento similar. O índice NDVI foi separado em 4 classes: Áreas Permeáveis - Áreas arborizadas, Áreas Permeáveis - Vegetação arbustiva, Áreas Permeáveis - Vegetação de gramíneas e Áreas impermeáveis (água, solo exposto, áreas construídas e sombra) (Figura 4).

Figura 4 - Mapa de uso do solo: áreas permeáveis e impermeáveis. Fonte: os autores.

### 3.2 MAPA DE DECLIVIDADE

Para produzir o mapa de declividade, foi utilizada a imagem SRTM (NASA- Missão Topográfica Radar Shuttle, acrônimo em inglês SRTM) com 30 metros de resolução para extrair linhas de contorno em níveis de 5 metros.

O intervalo de contorno fornece dados suficientes que fornecem a escala metropolitana da área de estudo e é compatível com a textura dos dados

de sensoriamento remoto. Com base nesse dado topográfico, classificamos de acordo com o desenvolvimento geral da terra e os parâmetros funcionais. Os intervalos definidos de inclinação foram 2%, 8%, 15%, 25% e superiores a 25% (Figura 5).

Figura 5 - Mapa de Declividades. Fonte: os autores.

### 3.3 ANÁLISE COMBINATÓRIA

Para aplicar a análise combinatória, o mapa de uso do solo foi combinado com o mapa de declividade (fig. 06). Segundo Groenwald et al. (2009) “Análise Combinatória é a parte da Matemática que estuda e desenvolve métodos para resolver problemas envolvendo contagem ou existência, em geral, pode-se dizer que é a parte da Matemática que analisa estruturas e relações discretas”. Este método permite uma ajuda adequada para a análise do estudo com a combinação de duas variáveis (Rocha, 2016).

A matriz de Análise Combinatória (Figura 6) dividiu o uso do solo em 4 categorias: (1) áreas impermeáveis; e áreas permeáveis foi subdividida em 3 categorias; (2) gramíneo; (3) arbustivo; e (4) robusta. O mapa de declividade foi inicialmente dividido em cinco categorias: 0-2%, representam áreas de inundação; 2-8% representa boas áreas para construir; 8-15% de área adequada para construir; 15-25% de áreas não adequadas para construção; e acima de 25% áreas protegidas. Para facilitar o estudo do declive, foi dividido em três categorias: 0-2% como Baixo; 2-15% como Médio; e 15 a 25% como alta.

Figura 6 - Análise Combinatória. Fonte: os autores.

### 4. RESULTADOS

Quando comparamos o resultado do mapa Permeável e Impermeável (Figura 7), observando apenas os dados do gráfico podemos concluir que há um equilíbrio entre a área impermeável (indica na cor amarela no gráfico) e a área de vegetação robusta (indica na cor verde escura em o gráfico) indicando um bom resultado para o espaço urbano, pois a área de vegetação robusta é a maior responsável pelos benefícios adquiridos com a convivência com as áreas verdes.

Mas quando analisamos o resultado observando o mapa, podemos observar a onde está localizada a área impermeabilizada (na cor amarela), concentrada na área central do mapa e a onde está localizada as áreas de vegetação robusta, ao redor da área impermeável, ou seja, as áreas de vegetação robusta não se integram as áreas construídas, segregando a convivência das áreas e das pessoas interagem nesses espaços.

Figura 7 - Mapa de áreas permeáveis e impermeáveis. Fonte: os autores.

A partir do resultado da análise combinatória, produzidos a partir do mapa de declividade com relação entre o mapa da área Impermeável e Permeável (Figura 8). O mapa faz uma comparação entre declividade baixa, declividade média, áreas de alta declividade com áreas impermeáveis, vegetação de gramínea, vegetação arbustiva e vegetação robusta. O mapa mostra onde as áreas impermeáveis estão localizadas e como pode ser observado (em cores azuis gradientes) quanto menor a declividade, mais áreas impermeáveis teremos. E quando mais alto o declive, áreas mais de vegetação robusta teremos. Além disso, as áreas de vegetação robusta estão próximas das áreas de fundo de vale (com alta declividade), perto dos principais cursos de água do rio Vltava.

Figura 8 - Mapa de Declividades e de Áreas Permeáveis e Impermeáveis. Fonte: Os autores.

Quando observamos as classes da tabela de análise combinatória (Figuras 9 e 10), são analisadas por declividade de 0 a acima de 25%, é possível ver onde as declividades classificadas por áreas gramadas, arbustivas e de vegetação robusta estão localizadas. É interessante observar que a maioria das áreas onde são fundadas áreas arbustivas e de vegetação robusta estão localizadas em áreas de 2 a 8% de declividade e acima de 25% de declividade. Enquanto as áreas mais impermeáveis estão localizadas de 0% a 2% e de 8 a 15% que representam áreas boas e adequadas para construir, local que vem sendo ocupado e que precisa de um planejamento urbano adequado que garanta qualidade desse espaço.

Figura 9 - Classes de Análise Combinatória. Fonte: Os autores.

Figura 10 - Comparação de Declividades com áreas Permeáveis e impermeáveis. Fonte: Os autores.

Já, quando analisamos as Classes de Análise Combinatória consideradas pelo uso do solo (Figura 11), é mais fácil localizar no mapa as classes de vegetação robusta (gradiente cinza), a vegetação arbustiva (gradiente verde), a vegetação gramínea (gradiente laranja) e para localizar as áreas impermeáveis (gradiente rosa) em comparação com a classificação da declividade (alta, média e baixa). Destacando as áreas em cor rosa localizadas em declives mais íngremes e concentradas nas áreas de baixa inclinação.

Figura 11 - Classes de Análise Combinatória de Uso do Solo. Fonte: os autores.

As Classes de análise combinatória (Figuras 12 e Figura 13), mostram onde as áreas permeáveis e impermeáveis estão localizadas em comparação com a declividade e a tabela que mostra a frequência com que esses fenômenos acontecem destacando a declividade média e área permeável.

Figura 12 - Classes de Análise Combinatória de Área Impermeável e Permeável. Fonte: os autores.

Figura 13 - Áreas Impermeáveis e Permeáveis em comparação com o total de áreas verdes de Praga. Fonte: os autores.

É interessante ressaltar que quando observamos o gráfico da Figura 12, é possível ver mais frequência de declividade com áreas permeáveis do que a área de declividade com áreas impermeáveis. E quando analisamos o gráfico da Figura 13, destacamos que é mais frequente o médio e alto declive em áreas permeáveis por região em Praga, mas há algumas regiões que precisam ter cuidado com sua área de vegetação robusta, pois possuem muitas áreas com baixa declividade e impermeável.

O mapa da figura 14 mostra as classes de análise combinatória de acordo com as áreas permeáveis e impermeáveis do TSES, e como podemos ver as maiores TSES estão localizadas em declive alto e médio, isto é, áreas onde não é usual construir. Além disso, as TSES localizadas em áreas impermeáveis estão em um declive médio e baixo, onde está o rio Vltava (área de não ocupação).

Figura 14 - Funções TSES em comparação com declividades, áreas permeáveis e impermeáveis. Fonte: os autores.

As distribuições de tipos de declive e áreas permeáveis e impermeáveis por regiões em Praga, podemos ver a declividade alta, média e baixa associada a distribuição com áreas impermeáveis e permeáveis (Figura 15). A inclinação mais baixa e a área impermeável estão localizadas na região central e primeira região desenvolvida e ocupada da cidade. Além disso, as áreas mais permeáveis estão localizadas nas regiões sul, oeste, sudoeste e sudeste (Figura 16).

Figura 15 - TSES não funcionais em comparação com declividades, áreas permeáveis e impermeáveis. Fonte: Os autores.

Figura 16 - Distribuição de tipos de declividades e de áreas permeáveis e impermeáveis por distrito da cidade.

Com base no método de pesquisa usando sensoriamento remoto, é evidente que as árvores são a cobertura predominante em Praga, representando aproximadamente 30% da área total do solo. A única categoria de declive onde a cobertura de árvores não é mais representativa é a categoria 0-2%. Também é claro que declives superiores a 25% representam quase 30%. No entanto, as áreas superiores a 25% e com cobertura de árvores são de apenas 38%. Um adicional de 31% de declives superiores a 25% é coberto por arbustos; totalizando 69% de encostas íngremes bem vegetadas.

Pesquisas futuras podem olhar mais de perto para diferenciar declives íngremes com mais categorias. A consideração da orientação também pode sugerir alguns dos fatores de diferenciação da cobertura de declives em ambientes urbanos, onde a orientação solar é um fator significativo na seleção do local de desenvolvimento, competindo, assim, com declives vegetados nas áreas de superfície. As áreas designadas pelo TSES cobrem aproximadamente 6% da área total com declives superiores a 25%. Dado o interesse na estabilidade ecológica e a quantidade de áreas de declive da etapa com cobertura de árvores e arbustos, é irônico que não há áreas maiores e mais extensas com a designação de TSES.

A designação de TSES como um controle regulador para proteger a estabilidade ecológica cobre quase 10% da área total da cidade. Desta área designada,

cerca de 58% é considerado funcional. TSES não funcionais em áreas com menos de 8% de inclinação representam quase 85% do total de áreas não funcionais; portanto, áreas designadas de TSES com declives maiores que 8% são amplamente funcionais, indicando claramente que a inclinação tem um impacto significativo na funcionalidade da TSES.

A relação entre o rio Vltava e o terreno elevado nas proximidades foi fundamental para o estabelecimento de Praga como uma cidade defensável. Embora a relação entre o rio Vltava e Praga tenha mudado substancialmente ao longo dos séculos, continua a ser uma parte crítica da estrutura urbana. A designação do TSES de toda a extensão do rio através da cidade é um dos significantes papéis pretendidos para o rio. No entanto, todo o comprimento do Vltava é considerado não funcional. O rio representa 42% de todas as áreas designadas não funcionais do TSES na cidade. O futuro da contribuição ecológica pelo rio não é claro. Exacerbado pelo significativo re-desenvolvimento ao longo do rio continua a colidir com o potencial desempenho ecológico do biocorredor do rio.

O método de análise combinatória e o índice NDVI mostraram-se adequados para o estudo de áreas de declive, permeáveis e impermeáveis e a possibilidade de aplicar essa metodologia em outros estudos urbanos com outras temáticas.

O satélite Sentinel-2 mostraram uma ferramenta muito interessante para estudos urbanos. Como é possível a aquisição gratuita de imagens possibilita a atualização sobre diferentes lugares na Europa e no mundo e pode ser aplicado em outros países usando uma abordagem adequada.

A análise combinatória mostrou-se muito interessante como método de comparação de duas ou mais variáveis de análise, para futuros estudos sugere-se testar outras variáveis que possam ter influência em áreas verdes como estradas e vias próximas ou patrimônios naturais e culturais, buscando dar suporte aos planos diretores e políticas públicas que visem a conservação das áreas verdes de forma a incentivar a interação entre ambiente construído e natural, de forma a proporcionar qualidade de vida às pessoas e ao meio ambiente.