



35^o
Bonito - MS

ANAIS do 35^o Congresso Brasileiro de Espeleologia
19 - 22 de julho de 2019 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 35^o Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

MARQUES, L.M.; PARIZOTO, D.G.V.; ABREU, H.F. Utilização do laser scanner terrestre como técnica de mapeamento - estudo de caso: SC_019. In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. *Anais...* Campinas: SBE, 2019. p.179-184. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_179-184.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.
Consulte outras obras disponíveis em www.cavernas.org.br

UTILIZAÇÃO DO LASER SCANNER TERRESTRE COMO TÉCNICA DE MAPEAMENTO - ESTUDO DE CASO: SC_019

USE OF LASER SCANNER LASER AS MAPPING TECHNIQUE - CASE STUDY: SC_019

Leon Muller MARQUES (1); Daniel Galvão Veronez PARIZOTO (2); Henrique Fernando de ABREU (3)

- (1) Graduando de Geografia na Universidade Federal de Santa Catarina; Analista em Geoprocessamento na Canopy Remote Sensing Solutions.
(2) Professor no Departamento de Geociências na Universidade Federal de Santa Catarina.
(3) Graduando de Geografia na Universidade Federal de Santa Catarina.

Contatos: leon.marques3@gmail.com; daniel.parizoto@ufsc.br; henrique_f.a@hotmail.com.

Resumo

Novas tecnologias na área da Topografia permitem a obtenção de um levantamento topográfico de uma caverna com todas as suas feições com pontos georreferenciados e com precisões milimétricas. Esse tipo de levantamento é possível com a utilização dos sistemas LIDAR (*Light Detection and Ranging*), onde se utiliza de pulsos lasers altamente precisos com o objetivo de medir distâncias nas três dimensões (3D) com o apoio de um GNSS (Global Navigation Satellite System) e de uma Estação Total. Os desafios para o mapeamento com um Laser Scanner Terrestre (TLS) se dão tanto na questão do preço do equipamento, quanto no levantamento em campo pela complexidade morfológica que as cavidades apresentam. Ainda assim a aplicação do TLS dentro da SC_019 demonstrou resultados promissores, uma vez que, a qualidade e quantidade das informações geradas abrem um leque de produtos que podem ser derivados da nuvem de pontos. Portanto, no emprego desta forma de mapeamento, deve-se adotar metodologias que permitam a replicabilidade, mantendo a consistência nos futuros monitoramentos.

Palavras-Chave: topografia; caverna; laser scan; LIDAR.

Abstract

New technologies in the field of Topography allow topographic surveys of caves with millimetrically precise and georeferenced data. This sort of survey is enabled by LiDAR (Light Detection and Ranging) systems, which, through laser pulses of accuracy, measure distances in all three dimensions (3D) with support of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) and Total Stations. The challenges for a Terrestrial Laser Scanner (TLS) survey are characterized by both the equipment costs and the morphological complexity of cave-like environments. Therefore, the use of TLS inside the SC_019 presented promising results, since the quality and quantity of the information generated opens a range of products that can be derived from the point cloud. Therefore, methodologies that allow replicability should be applied to maintain consistency in future surveys.

Keywords: topography; cave; laser scan; LIDAR.

1. INTRODUÇÃO

A evolução da tecnologia está transformando os métodos e técnicas de obtenção de dados topográficos, como exemplo, a tecnologia dos sistemas LIDAR (*Light Detection and Ranging*) que, cada vez mais acessível, está sendo aplicadas desde mapeamento de florestas, sítios urbanos e cavernas (DE CONTO, 2016; TOMMASELLI, 2003; BEIRÃO, 2011; GONÇALVES, 2007).

O LIDAR é uma tecnologia onde se utiliza de pulsos lasers altamente precisos com o objetivo de medir distâncias nas três dimensões (3D) baseado

no tempo de retorno do laser emitido do sensor ao objeto (Figura 1). Cada disparo desses lasers contra um objeto voltam com informações de coordenadas 3D (x, y, z) e essa base de dados gerada é chamada de nuvem de pontos. Os sensores LIDAR são aplicáveis em diversas áreas do conhecimento, gerando uma massiva quantidade de dados, confiáveis e acurados, com alta velocidade, permitindo a reconstrução virtual dos objetos escaneados (DE CONTO, 2016).

$$D = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta t$$

Onde,

D = Distância.

$\frac{1}{2}$ = Constante de retorno.

C = Velocidade da luz (300×10^3 km/s).

Δt = Variação do tempo.

Figura 1: Cálculo de distância para tomada das coordenadas.

O uso mais comum dos sensores LIDAR são quando embarcados nas aeronaves (*ALS-airborne laser scanning*) para o mapeamento de grandes áreas permitindo extrair modelos digitais de terreno (MDT) e modelos digitais de superfície (MDS), uso e cobertura da terra e modelação de copa de árvore com uma alta resolução espacial (DASSOT et al. 2012). Entretanto para mapeamentos que exigem uma escala mais fina e que os objetos estão abaixo das copas de árvores, a alternativa é a utilização do Laser Scanner Terrestre (*TLS - Terrestrial Laser Scanning*) (DE CONTO, 2016).

O TLS parte da mesma premissa dos aerotransportados (ALS) fazendo uso de sensores LIDAR, entretanto está posicionado no solo ao invés da aeronave, trazendo como grande vantagem a proximidade dos objetos a serem escaneados, aumentando consideravelmente o nível de detalhes da nuvem de pontos e conseqüentemente a área de cobertura se torna muito menor que o do ALS (Hackenberg et al. 2014).

Segundo Araújo et al (2015) o nível da precisão do mapeamento topográfico das cavidades está se tornando cada vez mais relevante, pois os empreendimentos de qualquer natureza que possam afetar direta ou indiretamente o escopo cavernícola precisam ser monitorados para a proteção da integridade da cavidade. Quando maior a qualidade do mapeamento melhor vai ser o controle.

O Laser scanner Terrestre, por produzir uma quantidade massiva de dados (Figura 2), se torna uma ferramenta poderosa para o mapeamento de cavidades. As cavernas naturais possuem estruturas complexas com espeleotemas detalhados e galerias labirínticas, a tecnologia LIDAR possibilita a manipulação e análises dessas feições com alta precisão (TOMMASELLI, 2003.)

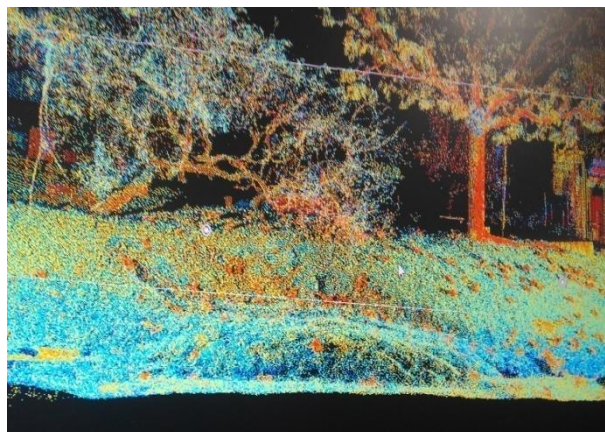


Figura 2: Nuvem de pontos de uma encosta com um movimento gravitacional de massa.
Imagem: Autores (2018)

O TLS apresenta uma alta homogeneidade nos dados coletados, possibilitando uma replicabilidade dos levantamentos e permitindo que as cavidades sejam monitoradas com precisão ao longo do tempo. Tommaselli (2003) também aponta outras vantagens:

- ❖ Alta velocidade de coleta dos dados permitindo menos tempo de permanência das equipes em campo, diminuindo possíveis riscos;
- ❖ Facilidade operacional, precisando de uma equipe de campo pequena;
- ❖ Como os dados são obtidos por meio de sensoriamento remoto, não há necessidade de aproximação de objetos delicados como espeleotemas, diminuindo o risco de danos ao patrimônio;
- ❖ Pelo fato do LIDAR ser um sensor ativo não necessita de luz para gerar a nuvem de pontos.

O presente trabalho objetiva descrever as metodologias adotadas para o mapeamento de um salão da cavidade natural SC_019 conhecida como Gruta do Saco Grande, utilizando o Laser Scanner Terrestre. A fim de garantir a replicabilidade do trabalho, também será adotado métodos de topografia tradicional, georreferenciando-se os pontos de apoio com o intuito de garantir que seja possível que se faça um monitoramento temporal do objeto de estudo.

1.1 ÁREA DE ESTUDO

A Gruta do Saco Grande localiza-se no município de Florianópolis, na área da Bacia do Vale do Rio do Mel (Figura 3). Compõe um conjunto de grandes blocos e matacões (Caverna de Tálus) situado no bairro Saco Grande, que fica entre

a região central e a porção norte da Ilha de Santa Catarina. Suas coordenadas planares estão na projeção UTM no Datum SIRGAS2000 UTM 22 S e são 6951633.43213 S, 747205.115586W.

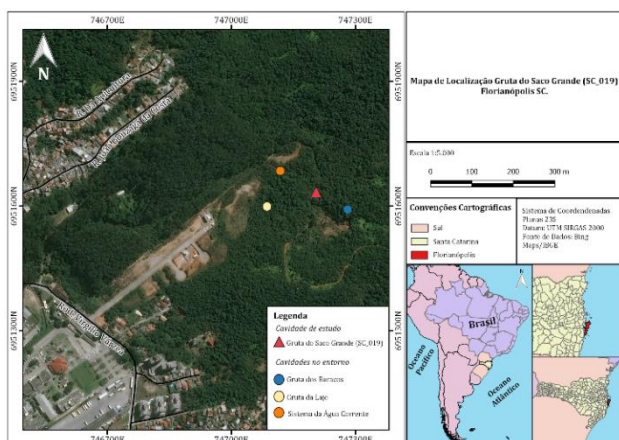


Figura 3: Localização da Gruta do Saco Grande.
Mapa: Marques (2018).

1.2 LITOLOGIA

A Gruta do Saco grande é uma cavidade natural subterrânea com gênese granítica, que apresenta um desenvolvimento labiríntico e vários níveis complexos e pouco explorados, dificultando a sua topografia (Figura 4).



Figura 4: Blocos de granitos empilhados no salão de entrada da Gruta do Saco Grande. Foto: Autores (2018).

Essa morfologia típica é formada pelo empilhamento de blocos graníticos com tamanhos variados, decorrentes do intemperismo da rocha matriz e dos processos erosivos que carregam os sedimentos, reagomando os blocos e ocasionando o seu empilhamento. Os espaços vazios causados pela sobreposição desses blocos formam a cavidade, sendo denominada de Caverna de Tálus (HARDT, 2003; MONTEIRO, 2014).

2. METODOLOGIA

Para a realização do mapeamento do salão da Gruta do Saco Grande, objeto deste trabalho, foram tomados os seguintes passos:

- ❖ Planejamento do campo
- ❖ Georreferenciamento de pontos de apoio
- ❖ Escaneamento a Laser
- ❖ Processamento dos dados.

2.1. PLANEJAMENTO DE CAMPO

Na primeira etapa foram levantadas as rotas de acesso a cavidade e a viabilidade de transporte dos equipamentos topográficos para o local. Uma vez traçada a melhor logística foram analisados onde seriam fixados os pontos de apoio (alvos), pois os mesmos necessitam ter intervisibilidade. Por fim foram avaliadas quais seriam as posições do Laser Scanner para que se consiga escanear todas as feições de interesse da cavidade. Essa etapa de planejamento tem uma grande relevância, pois torna o processo prático muito mais ágil diminuindo o tempo que a equipe de campo irá gastar para realizar o mapeamento.

Observações do entorno, aspectos físicos e fito fisionômicos, coletas de amostra de rochas e solo também fizeram parte dessa etapa.

2.2. GEORREFERENCIAMENTO DE PONTOS DE APOIO

Para o georreferenciamento dos pontos foi utilizado um GNSS (Global Navigation Satellite System), modelo PROMARK 220 antena L1/L2 (GPS + GLONASS). Já para o transporte das das coordenadas para dentro da cavidade e irradiações foi utilizado a estação total RUIDE RTS -822R3.

Foi aplicado o método relativo pós processado: o receptor GNSS ficou estático sobre o ponto durante todo o rastreamento onde as coordenadas rastreadas em campo são pós processadas, em escritório, no software Topcon Tools. As coordenadas são corrigidas com relação a uma base/ponto com coordenadas conhecidas. Neste caso foi utilizado a Base da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), do Instituto Brasileira de Geografia e Estatística (IBGE).

O tempo de rastreio ficou em torno de 60 minutos devido ao tamanho da linha base, entre 10 e 20 km, que compreende a distância do receptor utilizado como Base UFSC e o que foi utilizado em campo e também para obter uma melhor precisão.

O levantamento planialtimétrico da caverna foi iniciado com a definição do ponto de partida (E1) com coordenada arbitrária e o de ré/orientação (E0) também com coordenada arbitrária, materializado por um pino de metal inox fixado em um piquete de madeira instalado na trilha que passa em frente a caverna.

As coordenadas UTM dos pontos foram obtidas com a utilização de GNSS, onde foram instalados os equipamentos com bastão de 2.5m de altura, o mesmo verticalizado com auxílio de um tripé retrátil que foi afixado juntamente com o bastão. Dessa forma o equipamento ficou rastreando durante aproximadamente 60 minutos em cada ponto (E1 e E0) a fim de se obter uma precisão milimétrica em ambos os pontos.

O ponto E1 foi posicionado da melhor forma possível para que se pudesse ter uma visada em direção ao interior da caverna em relação à Estação Total. Sendo assim a Estação Total foi instalada no ponto E1 com auxílio de um tripé retrátil de alumínio, centrado e nivelado tendo como referência o pino de metal pregado no piquete. Após configuração da Estação e a medida a altura do equipamento, foi feita uma série de leitura conjugada na posição direta e inversa da Estação, no ponto de ré/orientação (E0) para se obter a média das leituras.

Com a Estação no ponto E2 foram lançados pontos de apoio nas paredes da caverna (A1, A2, A3, A4, A5), sendo materializados com tinta guache solúvel em água. Esses pontos foram medidos sem prisma. Esses mesmo pontos foram deixados para auxiliar no levantamento e georreferenciamento da nuvem de pontos com o Laser Scanner.

Com a Estação no ponto E2 foram lançados pontos de apoio nas paredes da caverna (A1, A2, A3, A4, A5), sendo materializados com tinta, esses pontos foram medidos sem prisma. Esses mesmo pontos foram deixados para auxiliar no levantamento e georreferenciamento da nuvem de pontos com o Laser Scanner.

Desta forma foi feito uma poligonal aberta, na qual não é possível estabelecer o controle de fechamento, pois não se conhece a coordenada e orientação do ponto de chegada. (CABRAL, C. R.; HASENACK, M., 2018).

2.3. ESCANEAMENTO A LASER

Para o escaneamento da cavidade foi utilizado o Laser Scanner da Topcon o GLS -1000 que possui um alcance máximo de 330 metros com

acurácia de 6” no ângulo vertical e horizontal, produzindo até uma taxa de 3.000 pontos por segundo. O Laser também possui uma câmera digital de 2 megapixels registra fotos antes do escaneamento, atribuindo a cor verdadeira dos objetos nos pontos.

Seu campo de visão na horizontal pode chegar até 360° fazendo uma volta no seu próprio eixo completa, entretanto seu ângulo de varredura na vertical atinge apenas 70°, o que se mostrou um fator limitante para estruturas localizadas no teto imediatamente acima da posição do Laser.

O Laser Scanner Terrestre é um equipamento que emite feixes de laser de uma dada posição e a cada objeto que reflete seu laser, é salvo dados tridimensionais e intensidade de retorno do feixe, e o conjunto dessas coordenadas são denominadas de nuvem de pontos (TOMMASELLI, 2003).

Comparativamente a visão do TLS corresponde ao de uma lâmpada acesa, onde todos os objetos iluminados serão escaneados e as sombras geradas pelos anteparos não irá conter nenhuma informação. Portanto para que se possa extrair a maior quantidade de informação possível deve-se mudar o equipamento diversas vezes para cobrir as sombras de outro ângulo (ARAÚJO et al. 2019). Portanto, cada nova posição o Laser Scanner realiza o escaneamento de uma cena, no processamento dos dados elas deverão ser registradas entre si, ou seja, realizar a união das nuvens de pontos para que se tenha uma única que compreenda todo o escopo da área da caverna.

Uma vez definido os pontos de apoio do escaneamento através da medição com a estação total, foram colocados alvos reflexivos em cima dos pontos de apoio irradiados (A1, A2, A3, A4 e A5). Esses Targets aumentam a qualidade do registro das cenas tal como a precisão da nuvem de pontos.

A metodologia utilizada para o escaneamento do salão da Gruta do Saco grande foi o Scanner Livre, que permite a instalação do TLS em qualquer posição desde que tenha visada para pelo menos dois pontos de apoio para que a nuvem de pontos fique georreferenciada. Este método é bastante utilizado para locais com acesso dificultado.

O *Laser Scanner* faz a varredura a Laser e logo após começa a tirar fotografias. Desse modo os pontos guardados em sua memória também vêm com a informação de cor real do objeto. Entretanto, nessa etapa do trabalho se faz necessário ligar

equipamento luminosos para que a fotografia saia com boa resolução.

O mapeamento 3D da caverna foi iniciado com o TLS na parte externa da cavidade, instalando-o antes da entrada da caverna mapeando a entrada e um pouco do interior da cavidade, escaneando os *Targets* (T1, T2, T3, T4). Como a Gruta do Saco Grande já apresenta dois níveis no primeiro salão, o equipamento foi transferido para o interior da caverna terminando de escanear o fundo e o restante da morfologia que não foi contemplada na primeira cena, visando os (T2, T3, T4, T5) pontos de apoio.

Portanto, com esse procedimento, foi mapeado o salão principal da Gruta do Saco Grande com duas cenas distintas, ou seja, o equipamento foi instalado em duas posições para que uma posição cubra as sombras geradas pela outra posição.

2.4. PROCESSAMENTO DOS DADOS TOPOGRÁFICOS

Os dados obtidos com GNSS foram processados no software Topcon Tools. Os dados brutos salvos pelo GNSS são importados para o programa. Os arquivos brutos da Base UFSC também são importados para o software, porém esses arquivos foram baixados do site do IBGE juntamente com o memorial descritivo que contém as informações sobre a base, como as coordenadas oficiais e os sigmas das coordenadas.

Com os dados já no software as coordenadas da Base foram substituídas pelas oficiais e inseridos os sigmas das coordenadas Leste, Norte e Altitude. Também o ponto Base foi selecionado para fazer as correções nos demais pontos.

Com os dados obtidos com a Estação Total, foi gerado um arquivo bruto de texto com a extensão “.txt”. O arquivo bruto foi processado no software DataGeosis Office v7.5.10. Primeiramente foi configurado o plano topográfico local com auxílio dos pontos E1 e E2 com coordenadas já processadas e corrigidas. Em seguida as coordenadas de referência são inseridas nos pontos E1 e E2 para substituir as coordenadas arbitrárias que foram inseridas em campo. Dessa forma todos os pontos passam a ter coordenadas UTM, e assim estão georeferenciados.

2.4.1. PROCESSAMENTO DA NUVEM DE PONTOS

A nuvem de pontos gerada pelo escaneamento da Gruta do Saco Grande foi

processada no software proprietário da Topcon o ScanMaster, nele é possível realizar os primeiros processamentos no produto gerado pelo *TLS*.

Com os dados dentro do ScanMaster, foram carregadas as cenas produzidas pelo equipamento. Como foi adotado o método de Scanner livre, o registro das cenas deve se dar por meio dos *Targets*. Os alvos que são comuns nas duas cenas servem para “amarrar” uma cena na outra para que a nuvem de pontos se torne contínua.

Já que os alvos foram alocados sob os pontos de apoio levantados pela Estação total, ao inserirmos as coordenadas UTM desses pontos no software, a nuvem de pontos inteira também irá se tornar georeferenciada.

Com a nuvem georeferenciada pode-se garantir que novos levantamentos com o intuito de monitorar as condições morfológicas do escopo cavernícola, possam ser consistentes e replicáveis.

3. RESULTADOS

O principal resultado deste trabalho é a nuvem de pontos (Figura 5) gerada pelo LIDAR, onde é possível visualizar parte do interior da caverna com uma riqueza de detalhes, no qual cada ponto tem sua coordenada UTM. Com isso é possível acompanhar mudanças ao longo do tempo na caverna, se está acontecendo algum deslocamento das paredes ou crescimento de espeletotemas, por exemplo, o que visualmente seria mais difícil essa percepção.

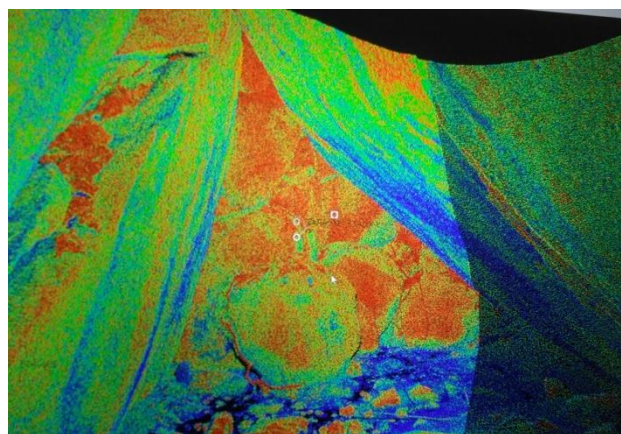


Figura 5: Nuvem de pontos de um salão da Gruta do Saco Grande, correspondente a fotografia apresentada na figura 4. Imagem: Autores (2018)

Com o processamento dos dados brutos do GNSS as precisões obtidas nos pontos E1 e E0 foram em média de 2 milímetros. O levantamento feito com a Estação Total após o processamento a

precisão obtida foi em média de 3 milímetros em cada ponto, sendo os pontos E0, E1, E2 e os pontos irradiados que foram usados de apoio para o levantamento com o laser.

4. CONCLUSÕES

Com a crescente popularização da tecnologia LIDAR as suas aplicações acabam se tornando cada vez mais técnicas e acessíveis economicamente. Sensores portáteis e mais compactos já é uma realidade, como os da *Velodyne*

LIDAR utilizado como principal acessório para os carros autônomos.

Outro ponto relevante seria as possibilidades que a tecnologia tem a oferecer. O monitoramento do patrimônio geomorfológico se faz cada vez mais necessário, e o mapeamento 3D da caverna pode trazer diversas informações importantes para o controle das cavidades.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, R.N.; MUNIZ, F.; SILVA, B.R.; BRANDI, I. **Controle morfológico de cavidades com a utilização de laser scanner**. In: RASTEIRO, M.A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015. Eldorado. Anais... Campinas: SBE, 2015. p.321-327. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_321-327.pdf>. Acesso em: 07/04/2019.
- BEIRÃO, Carla Castello Branco et al. **O potencial do laser scanner terrestre para o Inventário do patrimônio arquitetônico**. 2011.
- CABRAL, C. R.; HASENACK, M.. **Poligonais: Topografia e Agrimensura para cursos Técnicos**. Florianópolis: Curso Técnico em Agrimensura IFSC, 2018. E-book. Disponível em: <http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/livro-digital-poligonais/>
- DASSOT, M. et al., 2012. Terrestrial laser scanning for measuring the solid wood volume, including branches, of adult standing trees in the forest environment. **Computers and Electronics in Agriculture**, 89, pp.86–93.
- DE CONTO, Tiago. **Performance of tree stem isolation algorithms for terrestrial laser scanning point clouds**. 2016.
- GONÇALES, Rodrigo. **Dispositivo de varredura laser 3D terrestre e suas aplicações na engenharia, com ênfase em túneis**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- HACKENBERG, J. et al., 2015. SimpleTree —An Efficient Open Source Tool to Build Tree Models from TLS Clouds. **Forests**, 6(12), pp.4245–4294.
- INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Manual Técnico de Posicionamento**. Georreferenciamento de Imóveis Rurais. 1º Edição. Brasília: INCRA, 2013.
- MONTEIRO, Felipe A. D. **A Espeleologia e as Cavernas no Ceará: conhecimentos, proteção ambiental e panorama atual**. 2014. 2016. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014. Disponível em: < <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/15881>>. Acesso em: 09 set 2018.
- TOMMASELLI, Antonio Maria Garcia. **Um estudo sobre as técnicas de varredura a laser e fotogrametria para levantamentos 3D a curta distância**. GEODÉSIA Online-Revista da Comissão Brasileira de Geodésia, v. 4, p. 1415-1111, 2003.