

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O CÁLCULO DE VOLUME OBTIDO A PARTIR DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO REALIZADO POR DIFERENTES TIPOS DE EQUIPAMENTO

COMPARATIVE STUDY BETWEEN CALCULATION OF VOLUME OBTAINED FROM TOPOGRAPHIC SURVEY DRAWN BY DIFFERENT TYPES OF EQUIPMENT

Diego Rocha Costa (FEAMIG) <diego_jfmg@yahoo.com.br>

Eder Augusto Campos (FEAMIG) <edercamp@yahoo.com.br>

Rafaela Cristina de Souza Neto (FEAMIG)

<rafaelasouza180496@gmail.com>

Marília Elizabete Soares Brasileiro (FEAMIG)

<mariliaelizabete@hotmail.com>

RESUMO

Mediante os significativos e constantes avanços tecnológicos ocorridos na topografia nos últimos anos, sobretudo no que tange a evolução dos instrumentos utilizados para coletar e representar o relevo terrestre, e tendo em vista, os impactos ocasionados pela escolha dos equipamentos de medição, tanto na precisão quanto no nível de detalhes com que se é obtido o modelo da superfície terrestre, criou-se a necessidade de um estudo técnico que comparasse os resultados obtidos no cálculo de volumes a partir de levantamentos topográficos realizados por diferentes tipos de equipamentos. A esta pesquisa coube, comparar os resultados obtidos pelos seguintes equipamentos: receptores dos sinais GNSS, *laser scanner* e RPA, popularmente conhecido como VANT ou DRONE. Os resultados encontrados foram que o *laser scanner* e o RPA representaram melhor os detalhes do terreno, garantindo que o cálculo de volume seja mais próximo da realidade, viabilizando obras de engenharia.

Palavras-chave: *laser scanner* terrestre; RPA; receptor GNSS; comparativo de cálculo de volumes.

ABSTRACT

Due to the significant and constant technological advances that have occurred in the topography in recent years, especially with regard to the evolution of the instruments used to collect and represent the earth's surface, and in view of the impacts caused by the choice of measurement equipment, both in precision and in the level of detail with which one obtains the model of the terrestrial surface, it was created the necessity of a technical study that compared the results obtained in the calculation of volumes from topographic surveys realized by different types of equipment. To this research was compiled, compare the results obtained by the following equipment: GNSS signal receivers, *laser scanner* and RPA, popularly known as VANT or DRONE. The results were that the *laser scanner* and the RPA represented better the details of the terrain, ensuring that the volume calculation is closer to reality, making possible engineering works.

Keywords: terrestrial *laser scanner*; RPA; GNSS receiver; comparative calculation of volumes.

Correspondência/Contato

Faculdade de Engenharia de Minas Gerais

FEAMIG

Rua Gastão Braulio dos Santos, 837

CEP 30510-120

Fone (31) 3372-3703

parametrica@feamig.br

<http://www.feamig.br/revista>

Editores responsáveis

Wilson José Vieira da Costa

wilsoncosta@feamig.br

Raquel Ferreira de Souza

raquel.ferreira@feamig.br

1 INTRODUÇÃO

A representação do ambiente, sempre foi uma questão de sobrevivência e desenvolvimento para o homem, no passado era feita pela observação e descrição do meio, atualmente tendo em vista, todos os avanços tecnológicos ocorridos na engenharia de agrimensura, a exigência por levantamentos topográficos que sejam mais rápidos e precisos é cada vez maior, principalmente no que tange a representação do relevo terrestre para fins de projetos de engenharia e para implantação de obras. Tal exigência se justifica, uma vez que, quanto mais detalhado e preciso for o levantamento topográfico, mais assertivos serão os cálculos dos orçamentos necessários para a viabilização das obras e menos erros serão cometidos durante a sua implantação, o que, reduz retrabalhos e por consequência os custos da obra. A parte mais significativa do orçamento de obras que demandam movimentação de terra concentra-se nos pagamentos dos volumes transportados.

Além das obras de engenharia, o cálculo preciso de volumes também é de suma importância, por exemplo, nas minerações, onde todo o material extraído é armazenado em pilhas a céu aberto ou em galpões e comercializado por peso, em toneladas, sendo calculado em função do volume e da densidade do material.

A determinação do volume preciso de um material está diretamente relacionada à precisão do levantamento topográfico sobre o qual, será feito o cálculo. Como já dito, os equipamentos de medição, passaram por grande evolução, o que, contribui de forma direta para que esses trabalhos sejam feitos em menor tempo e de forma mais detalhada e precisa.

Os instrumentos convencionais, por exemplo, teodolito e estação total, proporcionam menor produtividade e menor precisão com relação a representação do terreno a ser levantado quando comparados aos novos, como receptores *Global Navigation Satellite Systems* ou Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), *laser scanner* e *Remotely Piloted Aircraft* ou Aeronave Remotamente Pilotada (RPA). Alguns profissionais da engenharia de agrimensura ainda fazem uso dos equipamentos convencionais, em grande parte devido à falta de conhecimento para manusear estes equipamentos mais modernos e lidar com os dados gerados pelo mesmo. Esse avanço tecnológico na área de agrimensura ocorreu em grande velocidade e muitos profissionais não conseguiram acompanhar este desenvolvimento e ficaram defasados no uso destas novas tecnologias.

Uma outra razão para que profissionais e empresas ainda não usem toda a tecnologia disponível se deve ao fato de que, algumas ainda são muito caras, como é o caso

do *scanner*, pois mesmo sendo mais produtivo e preciso muitos profissionais e empresas somente buscam usá-lo em serviços no qual o seu uso é uma exigência do contratante ou que pela natureza dos serviços a serem executados o uso do *scanner* se torne um grande diferencial de precisão, prazo de entrega e custo operacional. Assim como aconteceu com outros equipamentos como a estação total e os receptores GNSS, o que se espera para os próximos anos com o aumento da concorrência, tanto entre os fabricantes de laser *scanner* quanto de outras tecnologias como RPA, é uma redução do preço do laser *scanner*, tornando cada vez mais viável o seu uso.

Portanto, diante dos avanços tecnológicos ocorridos na área da topografia, torna-se relevante este estudo que, busca identificar os impactos econômicos e profissionais ocasionados pela seleção dos equipamentos de medição a serem usados em levantamentos topográficos que tem por finalidade o cálculo de volumes. Para tanto, foram analisados três tipos de equipamentos levando-se em consideração, a precisão dos resultados obtidos, o tempo de execução e o custo/ benefício de cada um. Desta forma, será demonstrado de maneira detalhada o comparativo do cálculo de volumes com os instrumentos abordados e as possíveis consequências devido à escolha dos mesmos.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Existem diferenças significativas nos resultados do cálculo de volume obtidos através de levantamento topográfico realizado por diferentes tipos de equipamentos?

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Comparar resultados de cálculo de volume obtido através de levantamentos topográficos realizados por receptores dos sinais Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) no modo *Real Time Kinematic* ou Posicionamento cinemático em tempo real (RTK), Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) e *laser scanner* terrestre, buscando identificar, para a área de estudo, o equipamento mais adequado, levando em consideração o custo/benefício, o tempo de execução do serviço e a precisão dos resultados obtidos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar o volume de uma pilha de estéril, utilizando os aparelhos objetos de estudo;
- b) Apresentar vantagens e desvantagens do emprego de cada um dos equipamentos no levantamento topográfico para fins de cálculo de volume;
- c) Comparar resultados do cálculo de volume realizado pelo método das seções e pelo método do Modelo Digital do Terreno (MDT).

1.2 JUSTIFICATIVA

Em conversas com profissionais que fazem trabalhos de cálculo de volumes e empresas contratantes deste serviço, observou que, apesar das exigências cada vez maiores do mercado em resultados mais precisos, mais ágeis e com menor custo, muitos prestadores de serviço continuam a usar os métodos e equipamentos tradicionais, mesmo em áreas onde as novas tecnologias como o *Laser Scanner* e RPA parecem ser mais adequadas para atender as necessidades de seus clientes relacionadas à otimização e redução dos custos do trabalho.

Quando se trata de material de apoio no setor de topografia, principalmente no que tange levantamento topográfico comparando a eficácia dos equipamentos existentes no mercado de trabalho, como por exemplo, GNSS, *laser scanner* e RPA, observa-se que existe grande falta para embasamento acadêmico e profissional.

Este fato motivou os autores a estudar melhor este assunto, a fim de se ter uma consciência dos resultados que podem ser alcançados por tipo de equipamento e ter subsídios em suas vidas profissionais para uma tomada de decisão acerca de qual equipamento utilizar para este tipo de trabalho. Fato este que possui acadêmica e profissional para o Engenheiro Agrimensor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Formas de representação da Terra

Diante de pesquisas e estudos sabe-se hoje que a terra tem na verdade uma forma bastante complexa, não sendo possível representá-la apenas de uma forma.

2.1.1 Superfície Topográfica

Também conhecida como superfície física, é nessa superfície do terreno que são executadas as medições e observações que constituem o objeto a ser descrito pela topografia (ERBA, 2003).

2.1.2 Elipsóide

Permite maior precisão de representação da Terra, por se tratar de uma forma matemática que mais se aproxima da verdadeira forma da superfície terrestre (TIMBÓ, 2001). Está é a forma matemática adotada pelos geodestas para representar a terra.

2.1.3 Geóide

É constituída pelo prolongamento do nível médio dos mares, sendo a melhor representação da forma da Terra, no entanto, não possui uma forma matemática bem definida (SARAIVA; TULER, 2014). É a superfície utilizada como referência para as altitudes ortométricas.

2.2 Sistemas de referência

Como o elipsoide é a forma matemática que mais se aproxima da forma real da Terra, ele está diretamente relacionado com os sistemas de referência. O conjunto de parâmetros que relaciona um elipsoide local e um sistema de referência geodésico, é chamado de datum geodésico (SARAIVA; TULER, 2014).

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), o sistema de referência é constituído por uma figura geométrica que expressa as características da superfície terrestre, que permite a localização única de cada ponto da superfície, em função de suas coordenadas tridimensionais e deve ser materializado por uma rede de estações geodésicas.

Ainda de acordo com o IBGE (2016), O Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS 2000) é oficialmente o sistema geodésico de referência adotado pelo Brasil. O IBGE observa que, quando emprega-se sistemas que não são respaldados na

lei podem ocorrer inconsistências e imprecisões nos dados de diferentes bases combinadas.

2.3 Sistemas de Coordenadas

“Sistema de Coordenadas: É um conjunto de linhas de referência que cobrem a superfície (esférica, elipsoidal, cartesiana) com a finalidade de permitir a localização precisa de qualquer ponto sobre a mesma” (SANTOS, 2017, p.10 grifo do autor).

2.3.1 Sistema de coordenadas topográficas

“Geralmente, esse sistema tem origem arbitrária, ou seja, são sugeridas coordenadas para o primeiro vértice da poligonal (X, Y e cota), de forma que os demais pontos tenham este como referência para o levantamento” (SARAIVA; TULER, 2014, p. 30).

2.3.2 Sistema de coordenadas UTM

- * Projeção conforme Gauss: cilíndrica, transversa e secante.

- * Sistemas parciais, correspondendo a fusos de 6° de amplitude, sendo, portanto um total de 60 fusos, tendo como origem o antimeridiano de Greenwich.

- * Extensão da latitude para regiões compreendidas entre 80°N e 80°S.

- * A origem do sistema de coordenadas planas se dá no cruzamento do meridiano central de cada fuso com o equador.

- * As coordenadas recebem os nomes de (E) Este para o eixo das abscissas e (N) Norte para as ordenadas. Na origem do sistema, a coordenada Este recebe o valor de 500.000,00m e a coordenada Norte recebe o valor de 10.000.000,000m para o hemisfério sul e 0,000m para o hemisfério norte. Estes valores foram atribuídos à origem do sistema, para evitar que as coordenadas tenham valores negativos.

- * Os fusos variam de 1 a 60, contados a partir do antimeridiano de Greenwich de oeste para leste.

- * Área mapeada contínua.

- * Não ultrapassar tolerâncias de escalas para minimizar os erros.

* Sistema ortogonal, cujas áreas possuem um único sistema de coordenadas plano retangulares.

* Convergência meridiana não ultrapassar 5°.

* Possibilidade de prolongamento de fuso sobre fusos adjacentes em até trinta minutos. Essa área de sobreposição facilita o trabalho em campo quando se trata de atividades cujas áreas de interesse estejam no limite entre fuso (SARAIVA; TULER, 2014).

2.4 Tipos de Levantamentos

2.4.1 Levantamentos Geodésicos

Existem dois tipos de levantamentos: os geodésicos e os topográficos.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), regulamenta o levantamento geodésico em território brasileiro e o define como um conjunto de atividades onde se realizam medições e observações físicas e geométricas que levam à obtenção de coordenadas (parâmetros) dos pontos a que se refere (IBGE, 1983).

Os Levantamentos geodésicos levam em consideração a curvatura da superfície da Terra, sendo assim, podem ser utilizados em trabalhos de pequena e grande escala (MCCORMAC, 2007).

A Topografia é a ciência que estuda a determinação das dimensões e contornos da superfície da Terra, por meio de medição de distâncias, direções e altitudes. Além das medições de campo, através da Topografia, é possível realizar o cálculo de áreas, volumes e afins (MCCORMAC, 2007).

Segundo Erba (2003), não só a Topografia, mas também, a Geodésia está diretamente ligada aos processos de levantamento e representação da superfície terrestre.

A principal diferença existente entre essas duas ciências, é que, a Topografia estuda o particular, limitando-se à reprodução de áreas com dimensões mais reduzidas, enquanto, a Geodésia, parte para o geral, obtendo informações como forma geométrica, tamanho e campo gravitacional da Terra como um todo (SARAIVA; TULER, 2014). Os mesmos autores citam que, a Geodésia faz com que, os pontos levantados localmente, sejam referenciados globalmente.

A norma técnica brasileira, que regulamenta a execução de levantamentos topográficos é a NBR 13133, de maio de 1994, caracteriza levantamento topográfico, como

“um conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos: horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas” (ABNT, 1994, p. 3).

Em casos de projetos de mapeamento de grande extensão, é necessário realizar alguns ajustamentos por causa da curvatura da Terra, no entanto, como os levantamentos topográficos são realizados em pequenas áreas, este fator não é levado em consideração (MCCORMAC, 2007).

2.5 Transformação de coordenadas

De acordo com Tuler e Saraiva (2016) as obras de engenharia de pequeno a médio porte se baseiam no plano topográfico e são levantadas, projetadas e locadas nessa superfície física. Quando o levantamento considera um sistema de projeção cartográfico ou outra superfície de referência, como é o caso do GPS que utiliza um sistema geodésico de referência, transformações deverão ser efetuadas para correlacionar essas informações de um mesmo ponto. A transformação de coordenadas pode ser aplicada em duas situações: no campo e no escritório (SARAIVA; TULER, 2016).

Segundo Saraiva e Tuler (2016), as coordenadas geodésicas são baseadas no elipsoide de referência, já as coordenadas UTM possuem deformações por serem resultantes da projeção cartográfica cilíndrica conforme e, as coordenadas topográficas são obtidas na superfície terrestre (campo topográfico).

Uma transformação entre os sistemas de referência da projeção UTM para o plano topográfico local deve ser executado para evitar que as deformações de distâncias causadas pela projeção UTM interfiram nos cálculos da área e conseqüentemente do volume de uma determinada porção da superfície terrestre que tenha dimensões compatíveis com o plano topográfico.

3 METODOLOGIA

Essa pesquisa se divide em dois critérios, são eles: quanto aos fins e quanto aos meios. Quanto aos fins, tem caráter exploratória com a finalidade de desenvolver, esclarecer e modificar. Quanto aos meios tange a pesquisa de campo com o intuito de informar,

enriquecer computar dos dados e os transcrever para o texto através de gráficos, tabelas, dentre outros.

3.1 O ambiente em estudo

A área onde foi realizado o levantamento topográfico, trata-se de uma pilha de estéril (Figura 1), localizada na Mineradora denominada Pedras Congonhas Extração Arte Indústria Ltda. (Companhia de Mineração), localizada em Nova Lima/ MG.



Figura 1: Pilha de estéril - Área levantada

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

3.2 Coleta e Análise dos dados

Para a coleta e análise dos dados realizou-se através da leitura nos instrumentos de medição: Receptor GNSS Triumph 1 – JAVAD; o RPA – Phantom 4 Pro – DJI e o *Laser scanner*.

3.2.1 Receptor GNSS Triumph 1 – JAVAD

O receptor base foi posicionado sobre um tripé de alumínio em um ponto qualquer, e configurado com a função de rastrear e obter via satélite as coordenadas de sua posição, desta forma realizando o levantamento pós-processado, como mostra a Figura 2.

Fez-se desta forma para que a base pudesse ter um bom tempo de rastreamento, assim garantido a sua precisão após o processamento.



Figura 2: Receptor GNSS Triumph 1 – JAVAD

Fonte: Catálogo informativo Triumph 1, 2018.

Após a instalação da base, à medida que ia rastreando o ponto de referência do levantamento, a mesma foi preparada com o auxílio da coletora para trabalhar no modo RTK, transmitindo através do rádio interno as correções diferenciais para o receptor rover.

O segundo receptor denominado como rover, foi acoplado sobre um bastão de alumínio, e com o auxílio da coletora configurado para trabalhar no modo RTK, recebendo o sinal de rádio interno transmitido pela base, desta forma este receptor recebe, em tempo real, as correções enviadas pela base.

Na coletora há um *software* que possibilita realizar essas configurações de campo e a comunicação com os receptores, que se dá via *bluetooth*. E é através da radiofrequência que as informações de coordenadas via satélite corrigidas em tempo real, chegam ao rover para que assim os pontos de interesse possam ser coletados e armazenados na controladora.

3.2.2 RPA – Phantom 4 Pro – DJI



Figura 3: RPA – Phantom 4 Pro – DJI

Fonte: Catalogo informativo DJI, 2018.

Antes de se realizar o levantamento propriamente dito, foi elaborado um plano de voo com o recurso de um aplicativo de *smartphone* chamado *Drone Deploy*, que necessita de rede de internet para o bom funcionamento, por este motivo a preparação do voo foi realizada no escritório, antecedendo a etapa de campo.

No plano de voo foram obtidos alguns preceitos a respeito deste, a ser executado como: altitude, velocidade, percentual de sobreposição das imagens e área de abrangência.

Antes de efetuar o levantamento aerofotogramétrico, foram criados 8 (oito) pontos de controle com gesso em pó, em formato de cruz com dimensões aproximadas de 1mx1m

no entorno e em cima da pilha. E Estes pontos de controle tiveram as coordenadas coletadas com o receptor GNSS rover, pois futuramente seriam utilizados no processamento dos dados.

Para dar início à coleta de dados, o equipamento foi ligado e suas hélices são ativadas, em seguida, deve-se conectar o smartphone ao controle remoto do drone via cabo, e esse por sua vez via radiofrequência com o drone. Todos os dados do plano de vôo foram repassados para o dispositivo e após o comando dado no *software*, inicia-se o voo captando as imagens e respeitando as configurações pré-estabelecidas no aplicativo.

3.2.3 Laser scanner



Figura 4: Receptor GNSS acoplado ao Laser scanner

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

O mecanismo de escaneamento é composto por um espelho giratório multifacetado que fornece linhas de escaneamento unidirecionais e paralelas, desta forma o laser scanner foi montado sobre um tripé de alumínio em vários pontos estratégicos no entorno e sobre a pilha, fazendo a varredura pela tecnologia laser. A partir de um comando no visor do equipamento, é que se dá início ao levantamento.

Os pontos onde o equipamento é estacionado, para realizar o levantamento dos dados, recebem o nome de “tomadas”. A cada “tomada” são emitidos 200.000 pulsos emitidos por segundo, dando um giro de 360° na horizontal e na vertical tendo visada de 100 graus, sendo 60 graus para cima e 40 graus para baixo, por “tomada”.

As informações coletadas pelo laser são representadas em sua nuvem de pontos e um segundo equipamento foi acoplado ao laser para que as tomadas tivessem suas informações de coordenadas levantadas. Desta forma, além da varredura realizada, um receptor GNSS configurado para trabalhar no modo RTK, efetuava essas leituras nos posicionamentos do laser.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Determinação do volume da pilha de estéril, utilizando os objetos de estudo

Para a determinação do volume, criou-se uma área derivada de um polígono que contornou toda a base da pilha (no nível do solo onde foi depositado o material). Essa área se tornou o plano de referência, ou seja, simulando um levantamento primitivo da área e assim sendo possível o cálculo do volume ali disposto.

Os cálculos de cada equipamento foram feitos separadamente de acordo com os seus resultados processados respectivamente, e se deram da seguinte forma:

Com os dados coletados com os receptores GNSS, criou-se outra superfície contemplando os pontos da base da pilha juntamente aos pontos do topo da mesma para se obter uma referência do sólido (pilha). Com a sobreposição do plano criado como parâmetro calculou-se o volume da pilha em metros cúbicos (m³).

Para determinar o volume da pilha com base no levantamento realizado pelo RPA, utilizou-se o mesmo plano de referência criado anteriormente. Criou-se também outra superfície onde contemplava os pontos da base em concordância com os pontos do topo da pilha, e assim calculou-se o volume da pilha em metros cúbicos (m³).

Por conseguinte, a nuvem de pontos gerada após o processamento dos dados do *Laser Scanner*, seguiu também o mesmo raciocínio de cálculo dos outros equipamentos utilizados. E da mesma forma, gerando o volume a partir do modelo digital do terreno, e o volume expresso em metros cúbicos (m³).

4.2 Apresentação das vantagens e desvantagens do emprego de cada um dos equipamentos no levantamento topográfico realizado para fins de cálculo de volume.

4.2.1 GNSS

Vantagens: extremamente preciso, cobertura mundial por 24 horas, menor tempo de processamento, trabalho em qualquer condição de tempo, sistema estável, serviço de processamento gratuito, controle dos dados em campo, coleta de dados finais (N, E, H), dispensa poligonais topográficas, maior produtividade, menor custo de mão de obra, sem intervisibilidade entre pontos.

Desvantagens: necessita sinal de satélite, não trabalha em áreas fechadas, pode sofrer interferência no sinal de rádio, dificuldades de funcionamento em áreas muito

arborizadas e/ou edificadas, impossibilidade de tratamento dos dados.

4.2.2 Laser Scanner

Vantagens: quantidade de pontos por segundo, velocidade do levantamento, representação tridimensional do objeto estudado através de uma densa nuvem de pontos, precisão milimétrica.

Desvantagens: alto custo do equipamento, não trabalha em determinada condição climática (chuva), para se ter o posicionamento real é necessário uso do sistema GNSS.

4.2.3 RPA

Vantagens: agilidade no levantamento, baixo custo, flexibilidade na obtenção de imagens, facilidade de uso, imagem de alta qualidade.

Desvantagens: não trabalha em determinada condição climática (chuva), para se ter o posicionamento real é necessário uso do sistema GNSS, tempo de voo reduzido devido à duração da bateria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos e análises desenvolvidos nesta pesquisa, levaram a conclusão de que com base nas exigências da topografia em representar melhor o terreno de forma mais fidedigna e garantir que o cálculo de volume seja mais próximo da realidade e viabilizando as obras e engenharia evitando comprometimento do orçamento das mesmas, deve-se eleger o equipamento mais adequado levando em conta o custo/benefício do mesmo.

Apesar do volume real da pilha de estéril em estudo ser desconhecido, observou-se que o laser scanner e o RPA representaram melhor os detalhes do terreno e portando o resultado obtido por esses aproximou-se do real, no método do modelo digital do terreno, o qual tem-se como parâmetro a superfete do terreno.

Apesar de existente, a divergência entre os resultados dos cálculos de volumes obtidos pelo método das seções e pelo método do modelo digital do terreno, como também por cada um dos três equipamentos envolvidos, não se mostram relevantes na situação da

pilha de estéril dessa pesquisa, desprezando o custo e o tempo de processamento.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de levantamento topográfico**. NBR 13133. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

CPE. CPE Engenharia. **Engenharia GPS / GNSS. JAVAD**. Disponível em: <<http://www.cpetecnologia.com.br/engenharia/gps-gnss/15/triumph-1/javad>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

ERBA, D. A. et al. **Topografia para estudantes de Arquitetura, Engenharia e Geologia**. São Leopoldo, Rio Grande do Sul: Editora Unisinos, 2003.

GOOGLE EARTH. **Imagem da Mineradora Pedras Congonhas Extração Arte Indústria Ltda**. Nova Lima, 2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/search/Mineradora+denominada+Pedras+Congonhas+Extra%C3%A7%C3%A3o+Arte+Ind%C3%Bastia+Ltda.,+localizada+em+Nova+Lima%2F+MG/@-20.1113919,-43.8759658,648m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rede de referência cadastral municipal: procedimento**. NBR 14166. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (1983). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

_____. INSTITUTO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2016). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

MCCORMAC, Jack C.. **Topografia**. Tradução de Daniel Carneiro da Silva, Revisão técnica de Daniel Rodrigues dos Santos, Douglas Corbari Corrêa e Felipe Coutinho Ferreira da Silva. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

SANTOS, Afonso de Paula. **Sistema de referência terrestre**. Viçosa, 2017.

SARAIVA, Sérgio; TULER, Marcelo. **Fundamentos de Geodésia e Cartografia**. Porto Alegre: Bookman, 2016.

SARAIVA, Sérgio; TULER, Marcelo. **Fundamentos de Topografia**. Porto Alegre: Bookman, 2014

TIMBÓ, Marcos A. **Elementos de Cartografia**. Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <<http://www.meusiteantigo.uff.br/cristiane/Estudodirigido/Cartografia.htm>> Acesso em: 01 abr. 2018