



APRESENTA

MODELAGEM VIRTUAL BIM DE TERRENO CONTENDO DADOS DE MAPEAMENTO DA SUPERFÍCIE OBTIDOS ATRAVÉS DE AEROFOTOGRAMETRIA COM DRONE E DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO RASO DA SUBSUPERFÍCIE OBTIDOS ATRAVÉS DE PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM GPR PARA SUBSIDIAR EVTE DE ATIVO DE INFRAESTRUTURA

---

1º PRÊMIO INOVAINFRA 2020

REVISTA O EMPREITEIRO

Expor, em linhas gerais, solução inovadora aplicada pela **Dimensional** em avaliação de ativo da área de infraestrutura denominada **Metodologia de avaliação de subsuperfícies através de aerofotogrametria com drone, ensaio GPR e sondagem, com geração de modelo BIM**

Em 2018, surgiu uma oportunidade para a **Dimensional** de aquisição de um interessante ativo de infraestrutura na área de mineração na região de São Pedro da Aldeia - RJ. Contudo, como se trata de um investimento de grande vulto, era de fundamental importância, para subsidiar um Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica, com uma precificação do ativo mais confiável, um aprofundamento das informações disponíveis, eis que alguns dados relevantes eram empíricos ou estimados.

Foi identificado, logo nas avaliações iniciais, que o CAPEX e o OPEX conseguiriam ser obtidos com um grau de assertividade adequado para embasar os estudos, com baixa margem de erro na avaliação. Entretanto, a quantidade de rocha explorável – acima da “cota zero” – era uma incógnita de difícil mensuração, com elevado grau de imprecisão nas estimativas e cuja variação impactava sensivelmente o estudo de viabilidade econômica do ativo. Igualmente desconhecidos e importantes eram os volumes das camadas de solo e de alteração de rocha sobrepostas à rocha sã, que impactam sobremaneira na logística e nos custos de manejo desses materiais colateralmente gerados para permitir a exploração do ativo.

Entretanto, para obtenção destas importantes informações, os custos dos levantamentos e investigações por métodos tradicionais, bem como o tempo demandado para concatenação dos dados, eram fatores impeditivos, tanto por limitações orçamentárias - para uma avaliação prévia - quanto por imposição de prazo limite para apresentação de uma oferta vinculante. Isso tudo devido à enorme área de abrangência do ativo, de mais de 100 hectares (1.003.036 metros quadrados).



Delimitação da região de estudo. Fonte: Autores, 2018

Para subsidiar uma tomada de decisão dos acionistas com um grau maior de confiabilidade no *valuation* do ativo, com custo e prazo adequados à demanda posta, surgiu a ideia de mesclar informações que poderiam ser obtidas através de diversas tecnologias utilizadas pela empresa, criando um modelo virtual do ativo em avaliação, contendo informações superficiais e subsuperficiais, em que se pudesse extrair com uma precisão adequada as informações necessárias à tomada de decisão.

Em 2014 a empresa investiu em uma frota própria de DRONES para acompanhamento aéreo das obras. A partir de 2017, a empresa ampliou a gama de serviços desenvolvidos com esses DRONES, executando mapeamento aerofotogramétrico com extração de nuvens de pontos, ou seja, um levantamento topográfico com mais velocidade e número de pontos que os métodos tradicionais.



**Drone utilizado no estudo.** Fonte: Autores, 2019



**Nuvem de pontos da área de estudo.** Fonte: Autores, 2018

No ano de 2006 a **Dimensional** realizou, pela primeira vez, uma prospecção geofísica - sondagem não destrutiva - com a utilização de *Ground Penetrating Radar* – GPR ou radar de penetração no solo, para mapear interferências subterrâneas – blocos de concreto, matacões de rocha e redes de concessionárias – na obra de remanejamento de uma adutora de aço de 900mm no entorno da Cidade da Música, Rio de Janeiro - RJ.

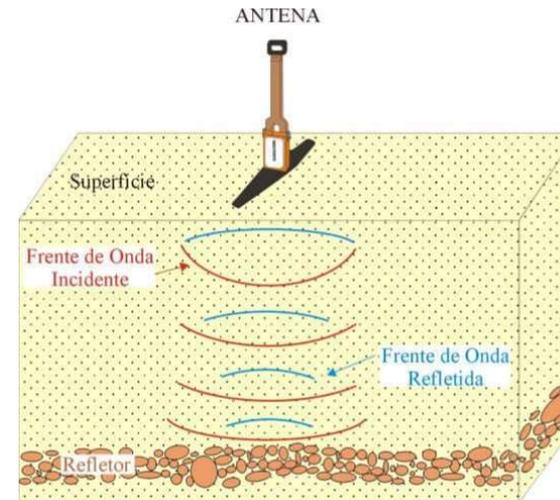


Diagrama de antena transmissora monoestática. Fonte: Borges, 2002

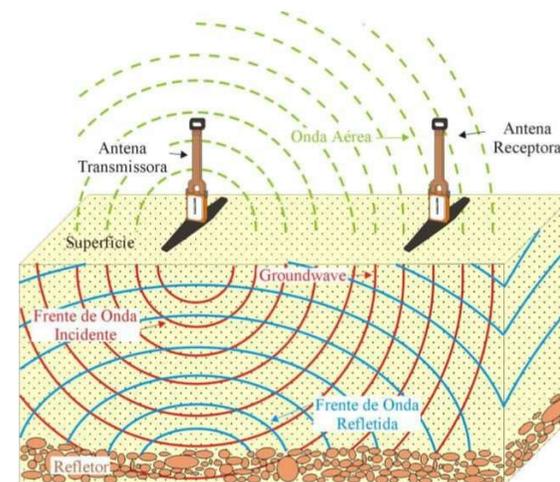


Diagrama de antenas GPR. Fonte: Borges, 2002

A partir de 2016, na obra de construção do Parque Madureira no Rio de Janeiro - RJ, a **Dimensional** começou a interagir com o conceito BIM, com os projetos arquitetônicos e estruturais de alguns equipamentos do Parque desenvolvidos em softwares BIM. Desde então, a empresa vem aprofundando os seus processos e procedimentos, disseminando internamente a utilização dos softwares e conceitos BIM, que abrange procedimentos, tecnologias, processos e pessoas que interagem com informações de um modelo de construção virtual durante todo o ciclo de vida de um empreendimento.

Já em 2019 todas as obras da **Dimensional** utilizam BIM direta ou indiretamente.

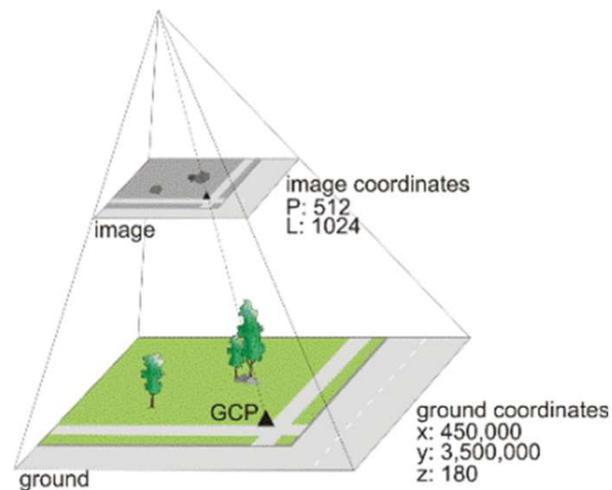


**Interações do conceito BIM com o ciclo de vida de empreendimentos.**

Fonte: Autodesk, 2017

A solução imaginada foi a criação de um **modelo virtual BIM do terreno**, contendo informações de mapeamento da superfície obtidas através de **aerofotogrametria executada com drone** e informações de mapeamento geológico raso da subsuperfície obtidas através de **prospecção geofísica com GPR** calibrados com cruzamento de dados obtidos através de pontuais **sondagens mistas**, que também serviram para caracterizar os materiais encontrados.

Primeiramente, no local de estudo materializou-se base de apoio georreferenciada através de GNSS para então distribuir pontos de controle no terreno (*ground control point* - GCP) georreferenciados com auxílio de equipamento *Real Time Kinematic* – RTK para auxiliar no processamento do mapeamento aéreo.



**Conceituação de ponto de controle (GCP).**

Fonte: PCIGeomatics. acessado em 2019.



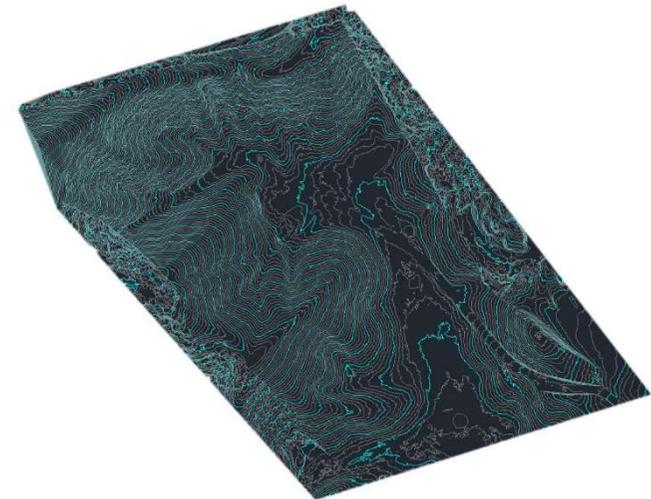
**Ponto de controle do estudo (GCP).**

Fonte: Autores, 2018

O próximo passo foi a realização dos voos de drone DJI Phantom 4 PRO com o auxílio de *software* de roteirização, para coletar as imagens e ortofotos. Esse conjunto de dados coletados é encaminhado ao escritório central para processamento em *software* específico *cloud-based* para concatenação das centenas de fotos e extração da nuvem de pontos, onde cada pixel da imagem torna-se um ponto no espaço com coordenada conhecida no terreno. Nesse momento já se possui o mapeamento aerofotogramétrico da superfície do terreno, totalmente mensurável e editável.

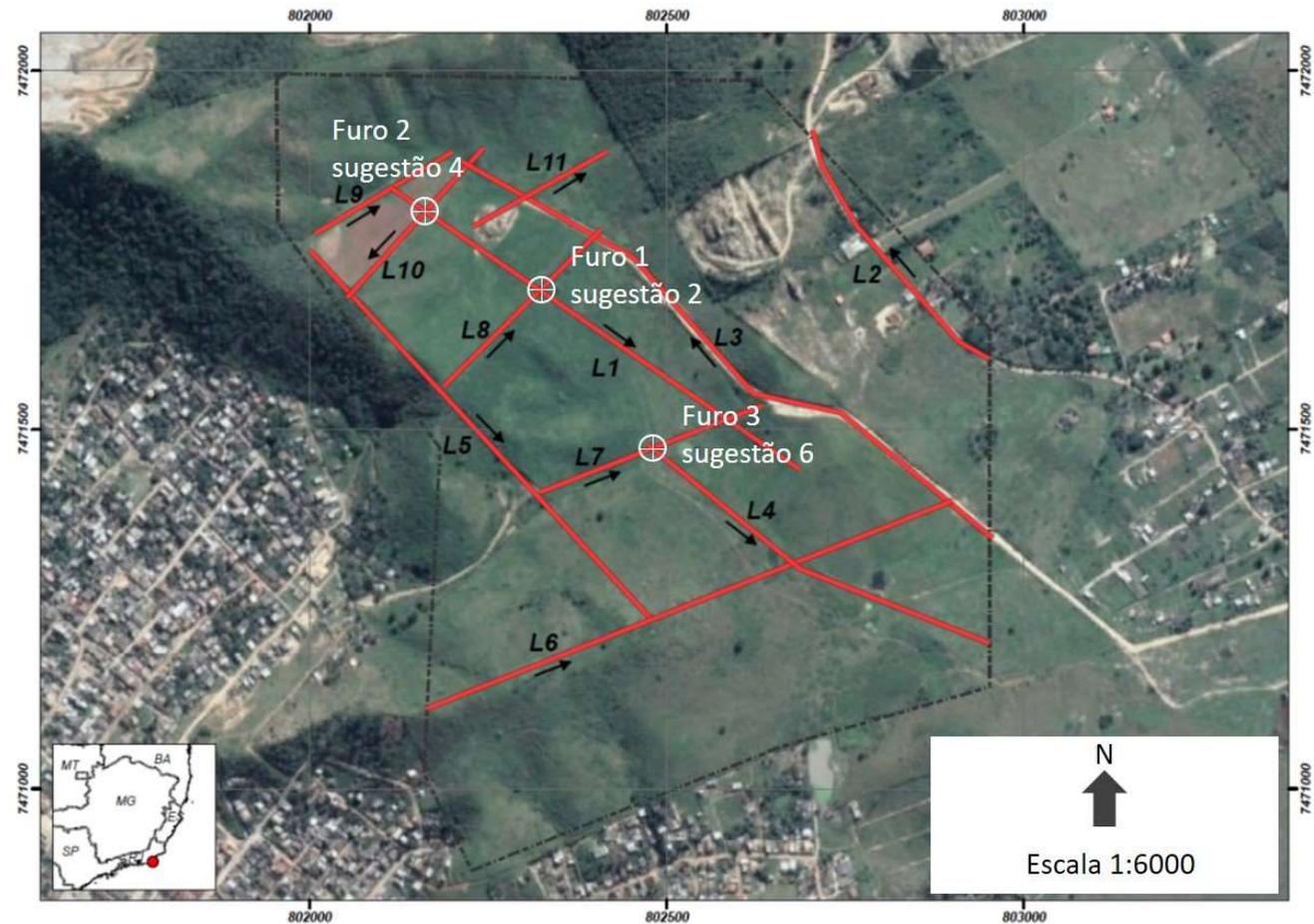


Eng.º operador habilitado e drone realizando levantamento da área. Fonte: Autores, 2018



Superfície topográfica digital georreferenciada, gerada a partir de aerofotogrametria com drone. Fonte: Autores, 2018

Com o mapeamento da superfície do terreno foi estabelecido o plano de prospecção geofísica e a sugestão de localização dos furos de sondagem.



Plano de investigação GPR e sondagem. Fonte: Autores, 2018

O levantamento por GPR foi executado utilizando-se o equipamento fabricado pela empresa GSSI, Inc., unidade de controle modelo SIR 3000, com antenas não blindadas possuindo frequência central de 80 MHz. As linhas de prospecção foram distribuídas de maneira a propiciar o melhor detalhamento das áreas de interesse, sendo feitos ao todo 11 perfis GPR. Os dados foram adquiridos deslocando-se o sistema GPR sobre a superfície do terreno (*common offset*).

O processamento dos dados de campo adquiridos pelo método GPR 2D foram processados no software ReflexW.

Os perfis GPR gerados possibilitaram investigar o subsolo até a profundidade máxima de 28 metros. Nos perfis foram delimitados estratos anômalos, que foram associados à presença de solo, rocha alterada e rocha sã.

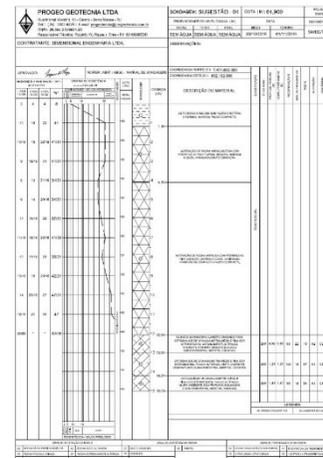
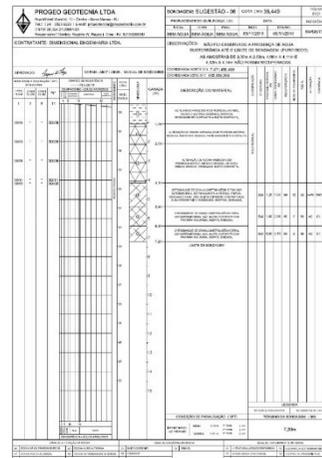
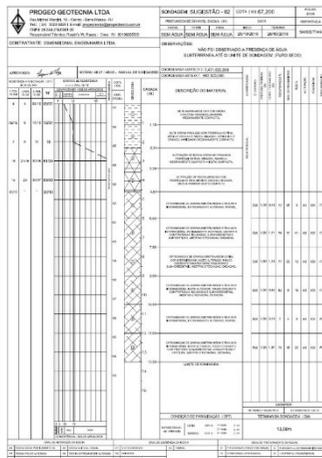


**Levantamento GPR.** Fonte: Autores, 2018

Foram executados 03 (três) furos de sondagem mista com circulação de água e protegidos por revestimento BW (ABGE), perfazendo um total de 20,83 (vinte vírgula oitenta e três) metros perfurados com índice SPT (sondagem à percussão), 19,95 (dezenove vírgula noventa e cinco) metros perfurados com sonda rotativa em rocha.

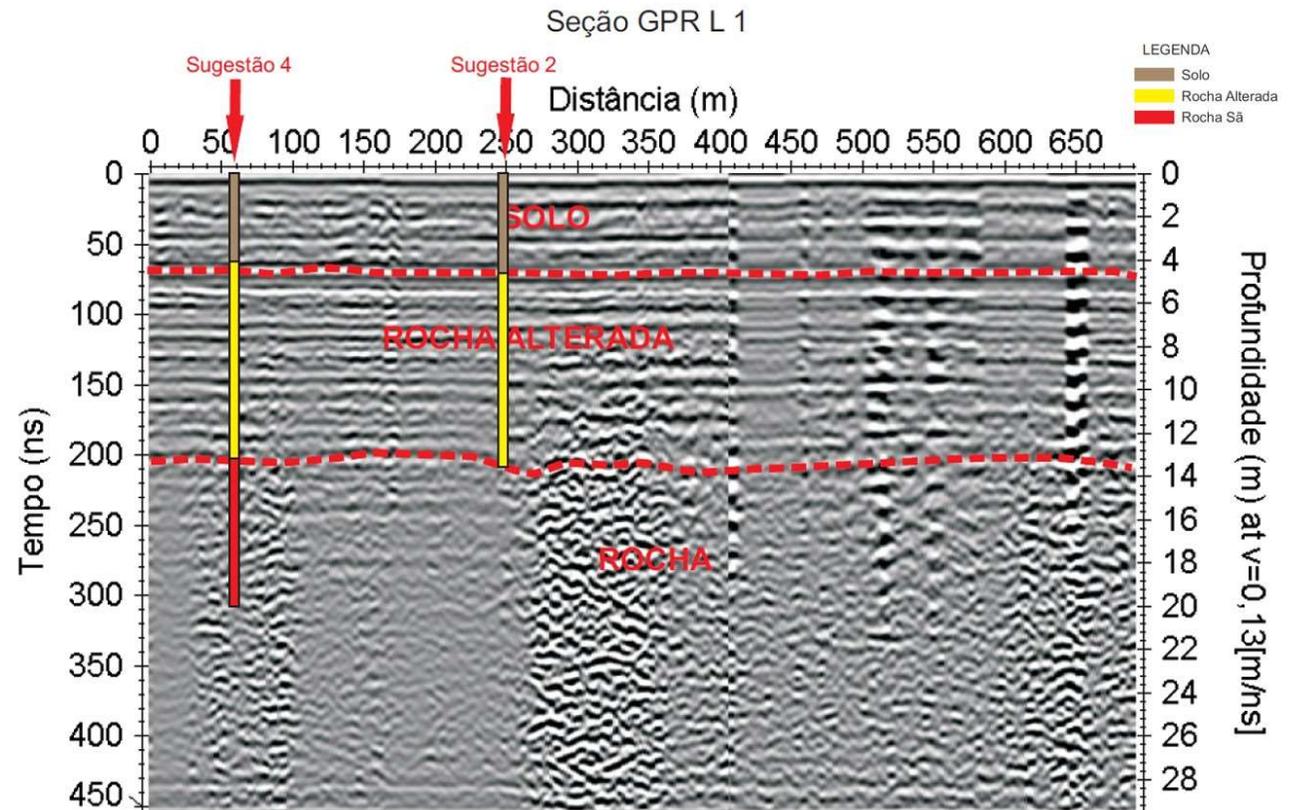


Amostra de materiais extraídos pela sondagem. Fonte: Autores, 2018



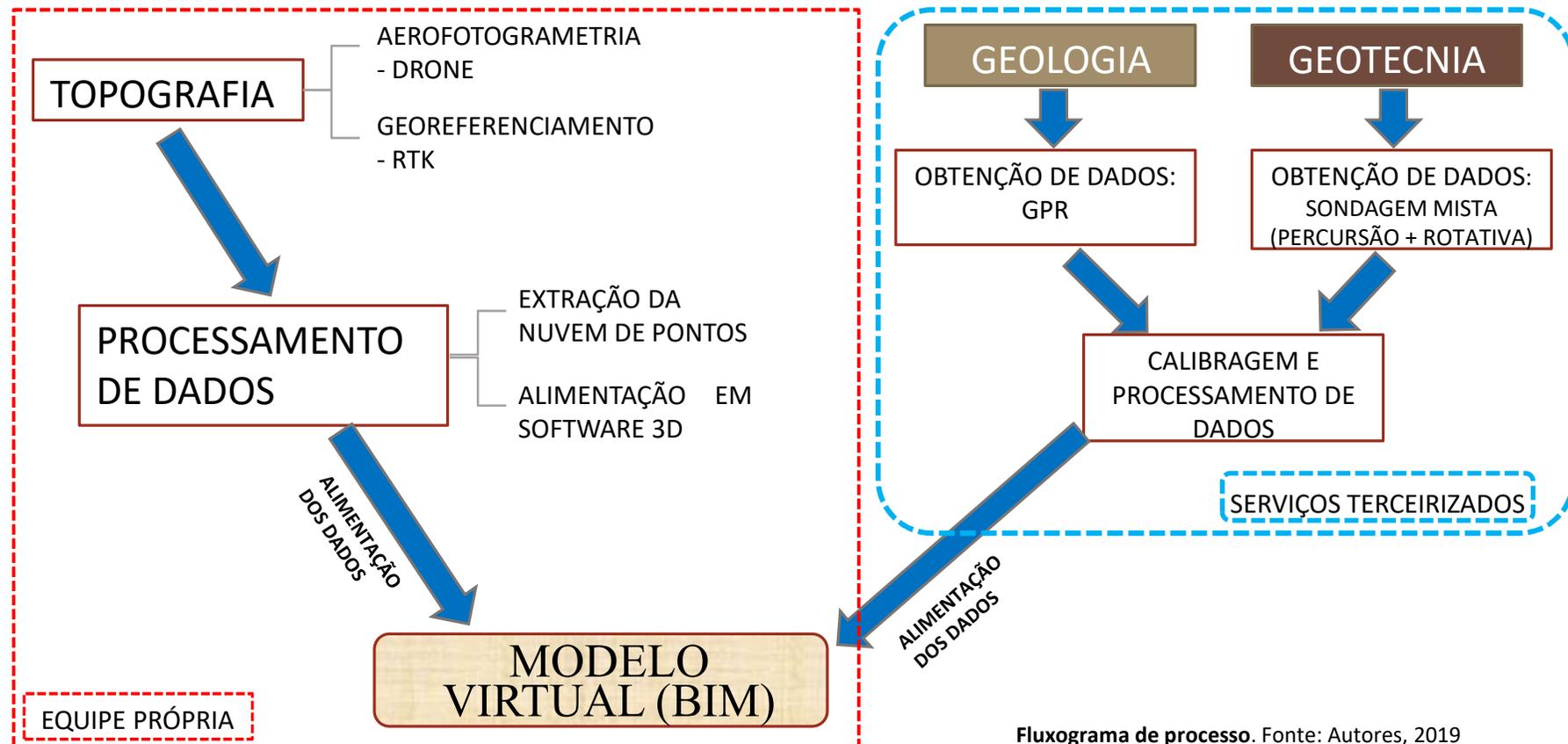
Relatório de sondagens.  
Fonte: Progeo Geotecnia, 2018

Os resultados do mapeamento geológico raso da subsuperfície através de prospecção geofísica foram calibrados com o resultado das sondagens rotativas.



Perfil GPR com a interpretação das camadas da subsuperfície calibradas pelas sondagens mistas rotativas.  
Fonte: Autores, 2018

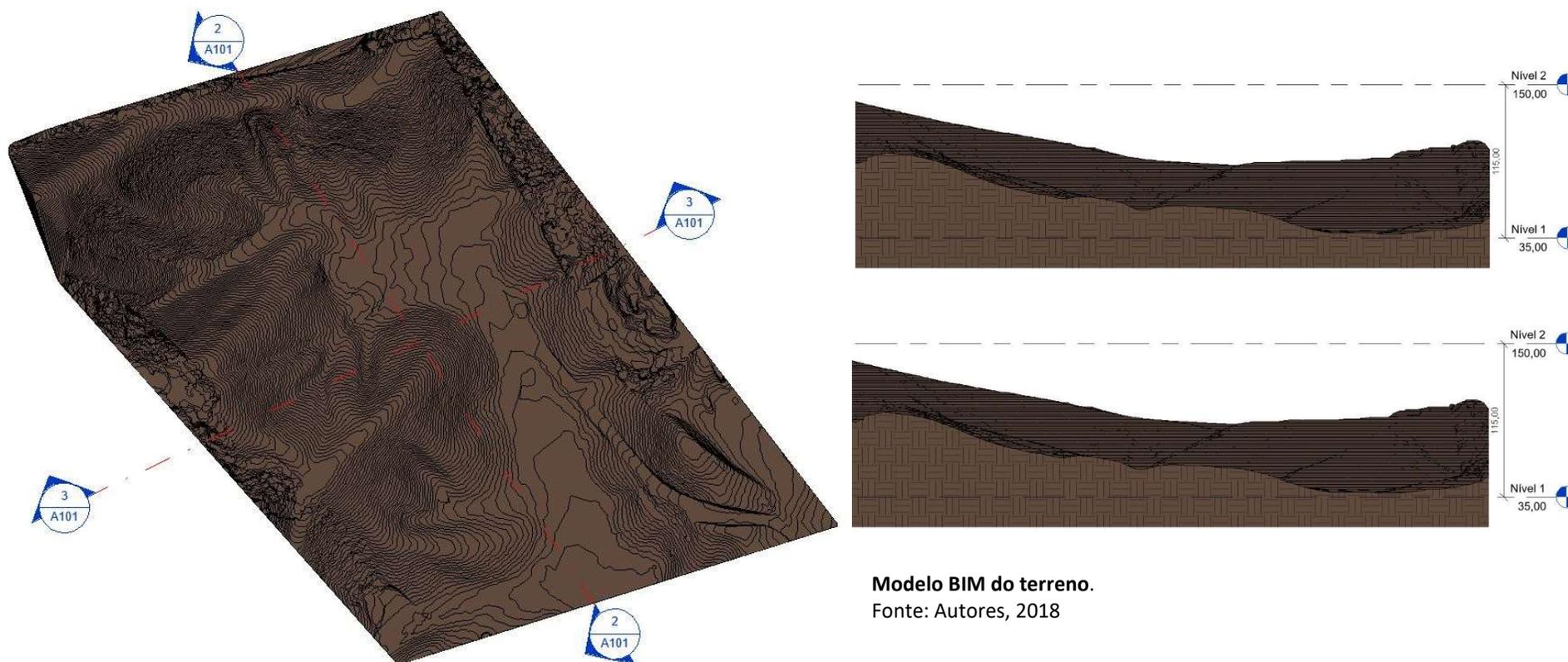
Todo esse conjunto de dados advindos dos mapeamentos da superfície e do subsolo foi alimentado em software BIM, sendo as informações obtidas pelas linhas de prospecção geofísica interpoladas para a construção virtual das camadas do terreno, divididas em solo, alteração de rocha e rocha sã.



Fluxograma de processo. Fonte: Autores, 2019

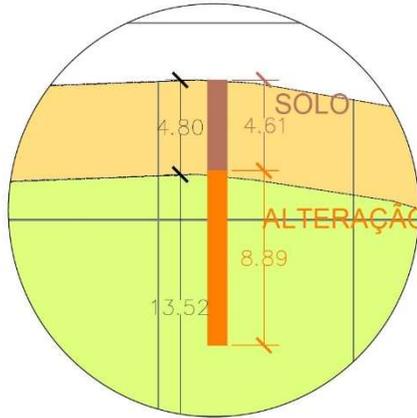
O resultado final foi um modelo virtual do terreno, contendo informações de superfície e subsuperfície, com grande aderência à sua contraparte real, cujos dados extraíveis subsidiaram, com acurácia, o EVTE e a tomada de decisão dos acionistas sobre o ativo.

As imagens ilustram de forma mais adequada o produto final gerado.

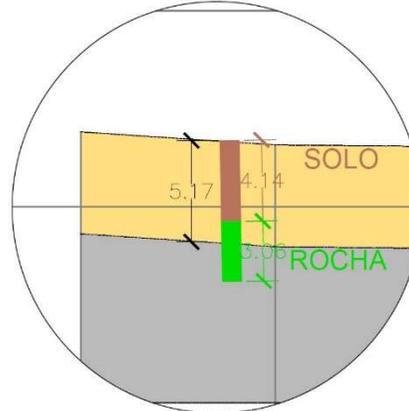


**Modelo BIM do terreno.**  
Fonte: Autores, 2018

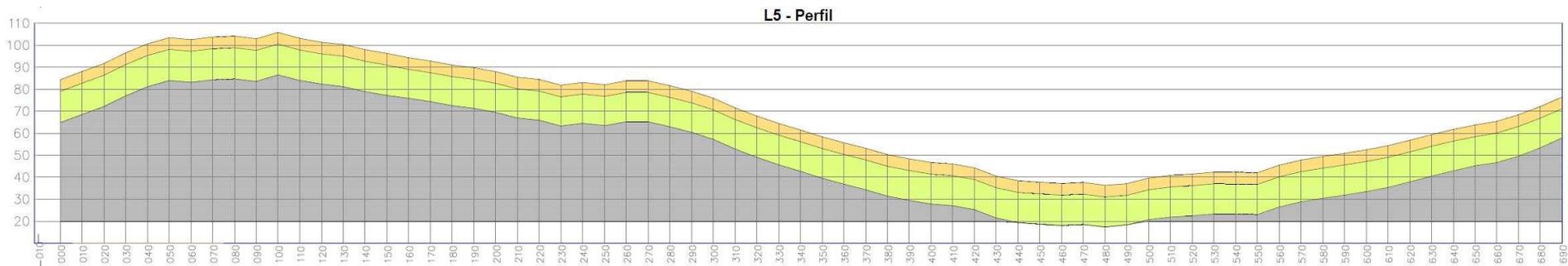
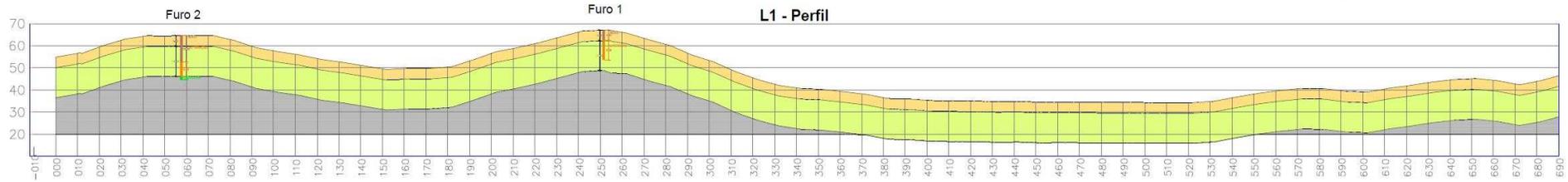
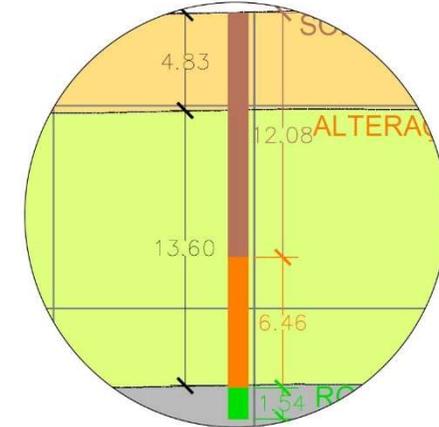
Furo 1 - Sugestão 2



Furo 3 - Sugestão 6

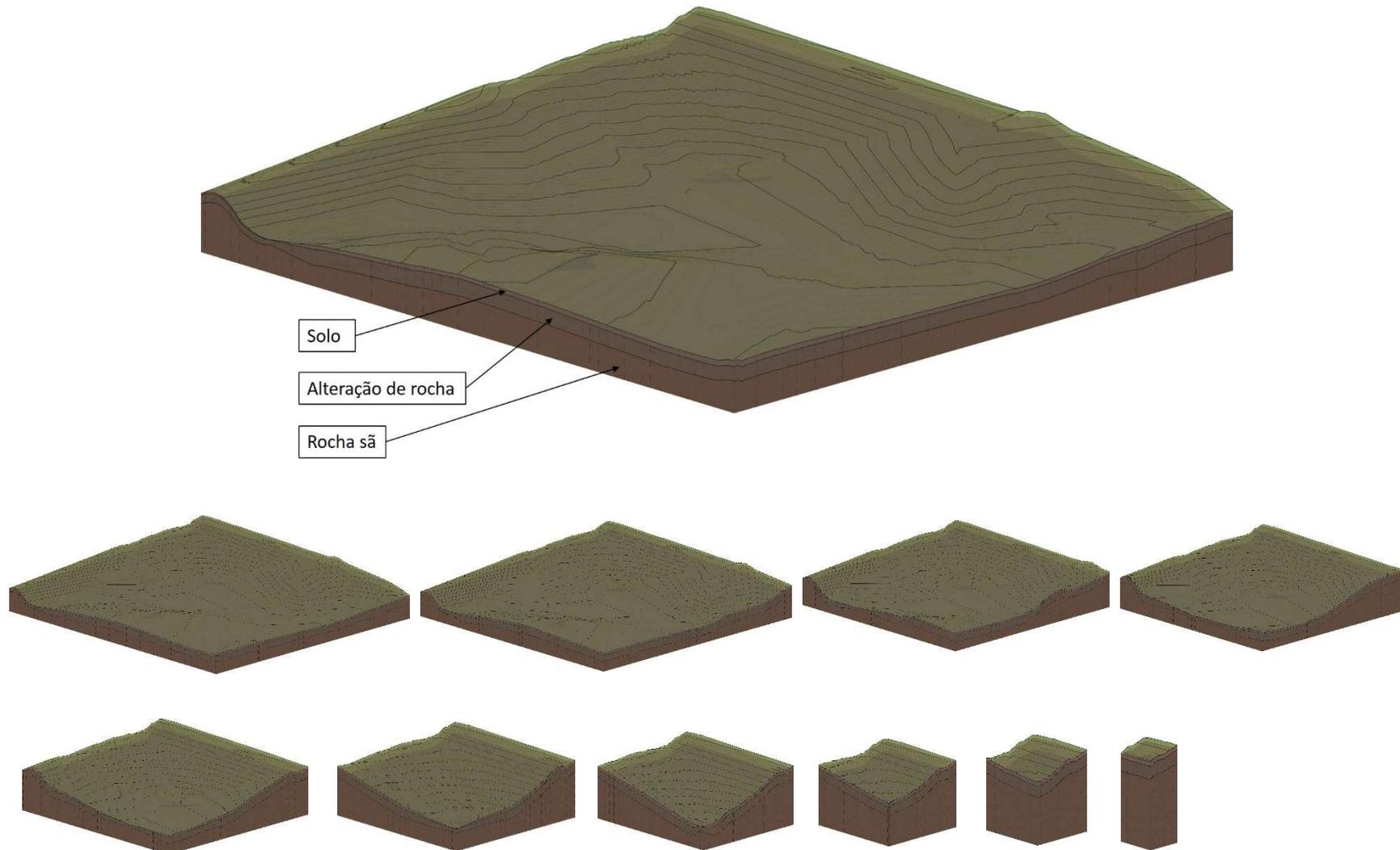


Furo 2 - Sugestão 4



Perfis do terreno e detalhes dos furos de sondagem.

Fonte: Autores, 2018



**Comportamento das camadas do subsolo da região de estudo.**  
Fonte: Autores, 2018

Acesse ao vídeo da fotogrametria aérea e do modelo BIM do terreno.



<https://youtu.be/PQiZRe51Qlg>

Após a validação da solução proposta, com a obtenção de um produto final confiável, adequado e preciso, foi elaborado um comparativo de custo e prazo entre a metodologia inovadora desenvolvida pela **Dimensional** e a alternativa convencional, para aferir os ganhos efetivos.

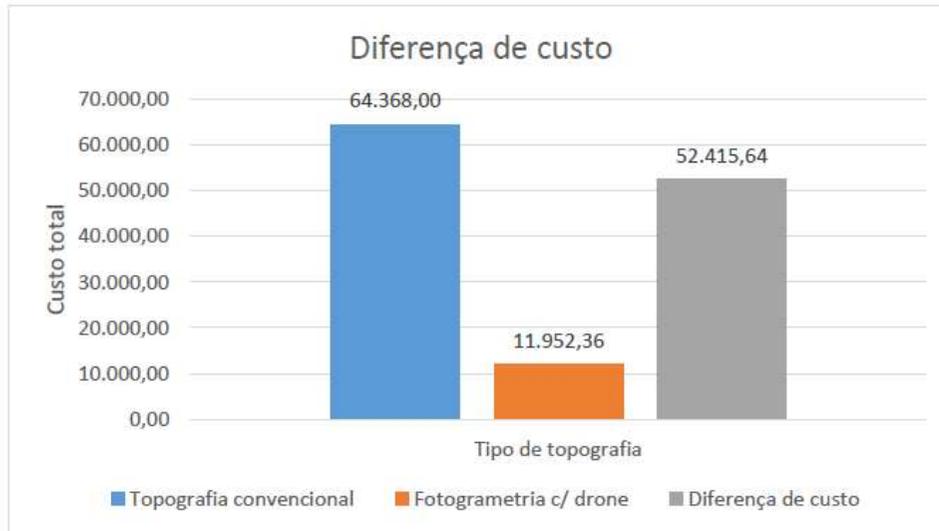
CUSTO

X

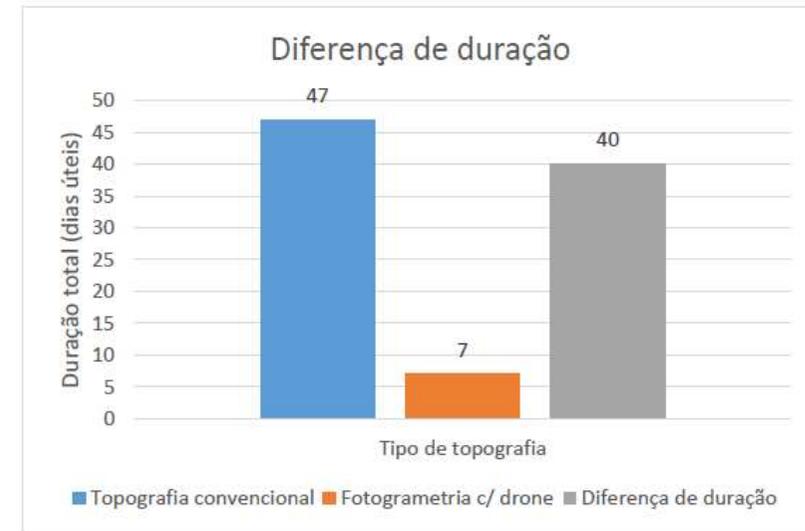
PRAZO

## ANÁLISE ENTRE MÉTODOS: LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL E FOTOGRAMETRIA COM DRONE

Item	Tipo de topografia	Custo Total	Duração (dias úteis)	Período (dias úteis)																																														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
<b>1</b>	<b>Fotogrametria c/ drone</b>	<b>11.952,36</b>	<b>7</b>																																															
1.1	Georreferenciamento GNSS	7.500,00	1																																															
1.2	Distribuição de pontos de controle (CGP)	237,23	0,5																																															
1.3	Locação com RTK dos pontos de controle (CGP)	362,17	0,5																																															
1.4	Voo com drone georreferenciado	1.565,86	2																																															
1.5	Pós-processamento das imagens coletadas	1.262,82	2																																															
1.6	Geração da superfície topográfica digital (DSM)	1.024,29	1																																															
<b>2</b>	<b>Topografia convencional</b>	<b>64.368,00</b>	<b>47</b>																																															
2.1	Georreferenciamento GNSS	7.500,00	1																																															
2.2	Levantamento topográfico com estação total	55.968,00	44																																															
2.3	Pós-processamento dos dados coletados	600,00	2																																															
2.4	Geração da topografia digital	300,00	1																																															



Redução de 81% do custo



Redução de 85% do prazo

Justificativa para uso da técnica GPR + sondagem em relação de apenas à técnica de sondagem

**SONDAGEM ROTATIVA MISTA + GPR**

**3 FUROS COM SONDA ROTATIVA MISTA**



3 furos de sondagem foram utilizados para refinar os dados obtidos a partir da leitura do ensaio GPR para caracterizar o solo

**SONDAGEM ROTATIVA MISTA**

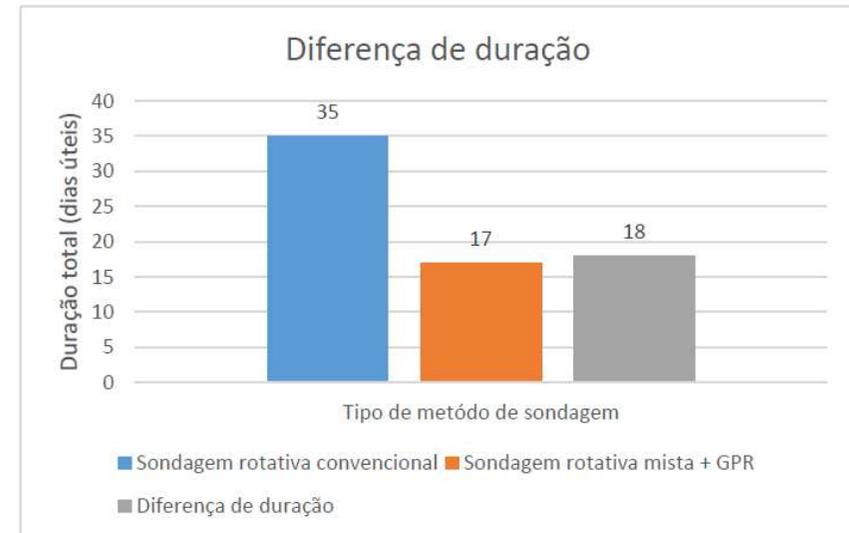
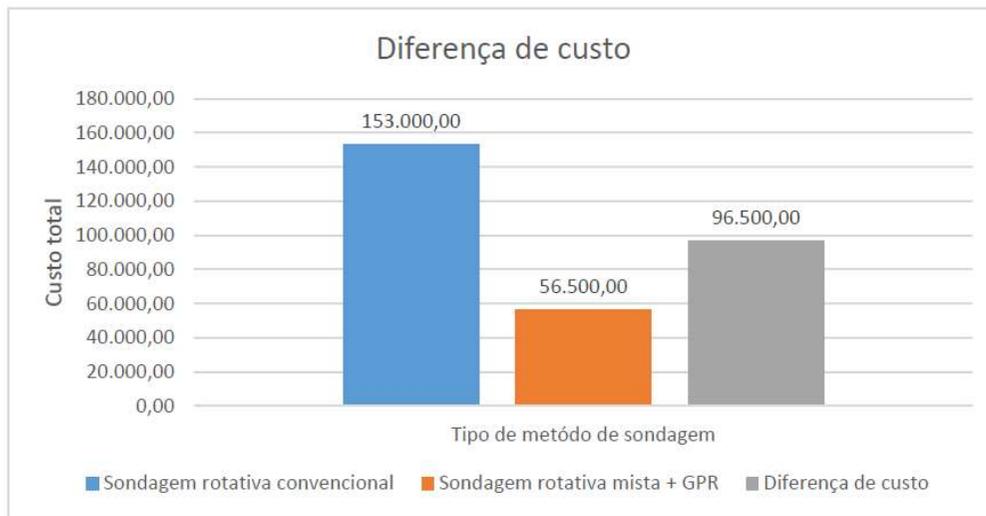
**23 FUROS COM SONDA ROTATIVA MISTA**



Seriam necessários no mínimo 23 furos para caracterizar o solo com a mesma precisão do método conjugado sondagem com GPR

## ANÁLISE ENTRE MÉTODOS: SONDAGEM ROTATIVA MISTA COM GPR X SONDAGEM ROTATIVA MISTA CONVENCIONAL

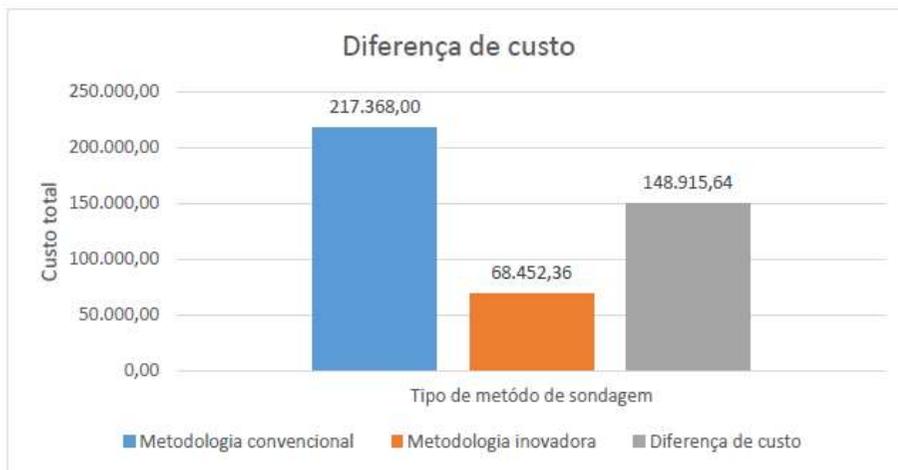
Item	Tipo de método de sondagem	Custo Total	Duração (dias úteis)	Período (dias úteis)																																		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
<b>1</b>	<b>Sondagem rotativa mista + GPR</b>	<b>56.500,00</b>	<b>17</b>	[Gantt chart showing duration from day 1 to 17]																																		
1.1	Levantamento com GPR e emissão de relatório	28.000,00	3	[Gantt bar]																																		
1.2	Emissão de relatório	3.000,00	6	[Gantt bar]																																		
1.3	Execução de 3 furos com sonda rotativa mista	17.850,00	3	[Gantt bar]																																		
1.4	Emissão de relatório caracterização do solo	7.650,00	5	[Gantt bar]																																		
<b>2</b>	<b>Sondagem rotativa convencional</b>	<b>153.000,00</b>	<b>35</b>	[Gantt chart showing duration from day 1 to 35]																																		
2.1	Execução de 25 furos com sonda rotativa mista	137.700,00	23	[Gantt bar]																																		
2.2	Emissão de relatório caracterização do solo	15.300,00	12	[Gantt bar]																																		



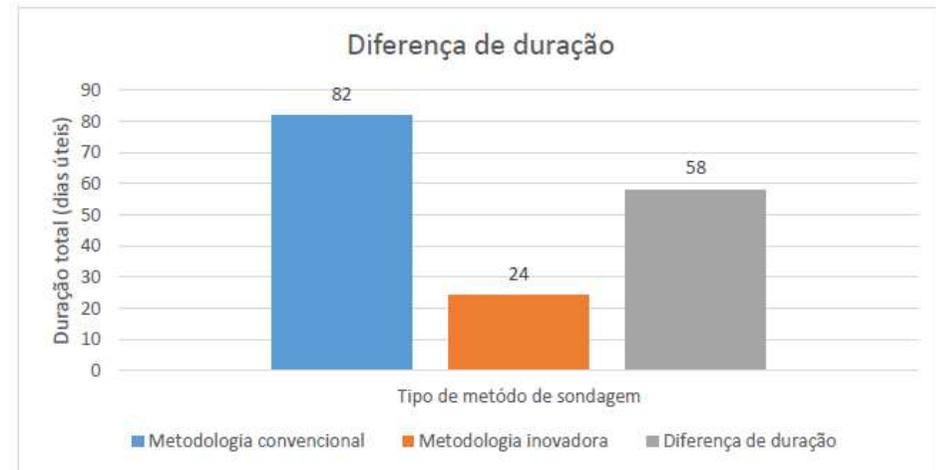
Redução de  
63% do custo

Redução de  
51% do prazo

Item	Tipo de método de sondagem	Custo Total	Duração (dias úteis)	Período (dias úteis)																																																																																	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82
1	Metodologia inovadora	68.452,36	24																																																																																		
1.1	Fotogrametria c/ drone	11.952,36	7																																																																																		
1.2	Sondagem rotativa mista + GPR	56.500,00	17																																																																																		
2	Metodologia convencional	217.368,00	82																																																																																		
2.1	Topografia convencional	64.368,00	47																																																																																		
2.2	Sondagem rotativa convencional	153.000,00	35																																																																																		

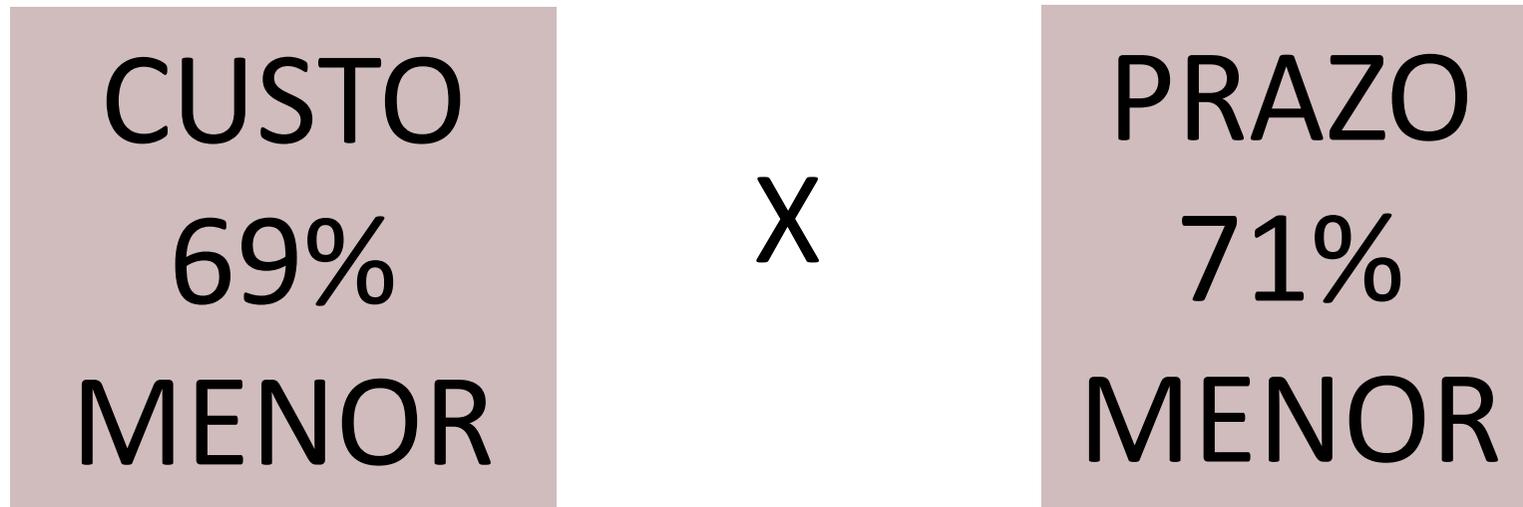


Redução de  
69% do custo



Redução de  
71% do prazo

Desse modo, verifica-se que a utilização do método inovador desenvolvido pela **Dimensional** contribuiu para a redução de aproximadamente R\$150.000,00 e de 58 dias úteis do prazo do serviço.



Além das **reduções de custo e prazo**, bem como o aumento da qualidade e confiabilidade das informações obtidas, é importante ressaltar a diminuição considerável do impacto ambiental gerado, pois os métodos tradicionais de levantamento demandariam maiores movimentações de solo nas sondagens, utilização de água para circulação nos furos, bem como supressão de vegetação superficial para abertura de caminhos de acesso para realizar a topografia e as sondagens.

Há também um ganho intangível decorrente da redução de exposição de risco dos colaboradores envolvidos pelos menores deslocamentos em terreno acidentado e de difícil acesso.

A metodologia inovadora desenvolvida pela **Dimensional** para prospecção de subsuperfícies é escalável, replicável e não se restringe apenas a prospecção de ativos, sendo possível de ser utilizada em obras de infraestrutura como implantação ou alargamento de rodovias, ferrovias, canalização, oleodutos, gasodutos, adutoras de água entre outras intervenções que implicam em movimentações de terra em grandes dimensões e exigem conhecimento com acurácia das camadas do terreno.