

Jubé, V. R.¹; Magalhães, V. Z.²

Graduandos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Castro, Rodrigo Martinez³

Professor MSc, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

¹ vinicius.jube@hotmail.com; ² vzakhia@outlook.com; ³ rmartinez@pucgoias.edu.br

RESUMO: O estudo dos solos se mostra uma das mais complexas áreas da construção civil, principalmente pela sua heterogeneidade, fazendo ser bem-vindos quaisquer estudos que facilitem a interpretação das informações disponíveis. Com o intuito de facilitar o entendimento da área de solos em área definida este trabalho visa caracterizar o solo do Plateau d'Or – Condomínio horizontal na cidade de Goiânia, através de informações obtidas em estudos preliminares da obra, facilitar sua visualização por meio de mapas montados com auxílio de *softwares* de geoprocessamento e apresenta-los em conjunto com informações para discussão sobre as possíveis fundações a serem executadas respaldados pela literatura da área. O estudo apontou que há regiões com boas resistências logo nas primeiras camadas e outros com boas apenas nas camadas mais profundas, o que permite tanto a execução de fundações rasas quanto profundas, a depender da localização do terreno, em função dos pontos estudados.

Palavras-chave: Caracterização de solos; mapeamento; QGIS, geoprocessamento.

Área de Concentração: 01 - Solos

1. INTRODUÇÃO

Para qualquer tipo de construção, o solo se faz parte integrante, pois sustenta a estrutura do empreendimento, seja de pequeno ou grande porte. O uso sem conhecimentos prévios das características e comportamento mecânico de um terreno pode acarretar, além de desastres como: desabamentos, erosões e deslizamentos; o superdimensionamento da fundação e da estrutura.

De acordo com Caputo (1979), uma série de acidentes geotécnicos em obras no fim do século XIX e início do XX mostrou a falta ou inadequada percepção e conhecimento daquilo que usavam como base para as construções, o solo. Isso se deve pelo simples fato de que o solo é inconstante, em pequenos intervalos de espaço, pode haver mudanças significativas das

porções e características do terreno, o que influencia totalmente no comportamento da estrutura naquele local. A partir disso, foi incentivada a busca pelo conhecimento e reações do solo para a tomada de novas decisões mais precisas.

Segundo Santos (1997), um solo mais granular, como os arenosos, requer grande atenção, pois possui um índice de coesão muito baixo, ou seja, a possibilidade de movimentação é grande e sua permeabilidade é alta. Para evitar essas interferências, geralmente são usadas nesse solo fundações mais profundas, como estacas de concreto ou aço. Solos argilosos são mais fáceis de serem moldados e possuem dificuldade de desagregação. Neles, portanto, são mais utilizadas fundações rasas. Solos mais siltosos são suscetíveis a erosão e desagregação natural e devem ser estudados de forma mais detalhada.

Embora o conhecimento dos tipos de solos seja importante, não é somente ele que conduzirá à uma boa utilização, pois não há nenhum solo que seja único. Há variações e misturas entre eles que tornam necessária a investigação mais detalhada, tanto com a finalidade de segurança quanto de economia.

Segundo Rowe (1972), os custos de uma sondagem, em relação ao custo total de uma obra, muitas vezes não chegam a 1 % para edifícios. Além de terem um custo relativo barato, a sondagem, quando executada de forma precedente à elaboração dos projetos de fundação, também são capazes de reduzir consideravelmente a dimensão e o preço desse elemento e da estrutura.

A partir do conceito e da função da geotecnia, que é o campo que estuda o solo e rochas e como se comportam sob a ação humana, a ideia é eliminar as ocorrências de desabamentos, desmoronamentos, deslizamentos e patologias nas construções, na questão física, e reduzir o custo da execução tanto da fundação e estrutura quanto no pós obra, período em que se manifestam as patologias devido, muitas vezes, a falhas ou falta de projetos e boa execução (QUEIROZ, 2018).

A abordagem mais convencional de dados referentes a caracterização de solos se dá por modelos matemáticos, gerando grandes conjuntos de dados. Para Mcbratney (2003 apud Caten, 2012) a apresentação desses dados em mapas ajuda a organizar e facilitar análises e interpretações.

Com base nessas considerações, objetivo geral deste trabalho foi realizar o estudo da superfície do “Condomínio Plateau d’Or”, na cidade de Goiânia/GO, a partir de levantamentos realizados para execução da obra, com foco nas sondagens prévias, significar as informações obtidas e organizá-las em mapas. Feita a apresentação das figuras serão discutidos os possíveis usos da área no escopo delimitado pelo estatuto do condomínio: unidades residenciais de até dois pavimentos e área de até 1000 m², a depender do lote.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Floriano (2016), se conseguimos escavar o material com uma escavadeira, podemos considerá-lo solo (de primeira ou segunda categoria). No âmbito da mecânica dos solos, é uma massa formada por 3 fases

diferentes: estruturas sólidas, líquidos e gases. Sendo assim o estudo dessa massa quanto a sua granulometria, origem, material e as proporções entre essas fases.

2.1. Solos comuns das áreas urbanas

A urbanização no Brasil, intensificada a partir da década de 70, promove incontáveis impactos e consequências sobre a paisagem urbana e rural, pelo processo de organização social, que tende a adequar população ao ambiente e gerar condições melhores de vida em sociedade (PEDRON, 2007).

Com isso, um dos elementos que podem ser mais afetados é o solo. Esse elemento exerce funções importantes para a urbanização, como fonte vital para a vida vegetal, regulação do ciclo hidrológico, filtro natural, além de suporte para as obras de engenharia, sejam elas de grande ou pequeno porte (AZEVEDO, 1999).

É necessário destacar que “solos antrópicos” e “solos urbanos” tem conceitos distintos. De acordo com Ladeira (2012), solo antrópico contempla aquele que é de forma significativa modificado pela ação intensa e contínua do homem. Os solos urbanos estão dentro de uma subdivisão de solos antrópicos, que de uma forma mais natural se encontra no meio urbano, sendo modificados ou não, mas que são mais complexos de serem classificados, pela sua heterogeneidade.

Essa descontinuidade morfológica dos solos gera diferenças na densidade, porosidade, estrutura e textura, que de forma antrópica ou não, tornam a necessidade de conhecimento e mapeamento imprescindível para evitar o uso inadequado (AZEVEDO, 1999).

Em relação aos solos existentes sob as cidades, existe uma falta muito grande de informações, devido à essas heterogeneidades, que seriam fundamentais para um bom conhecimento e planejamento do uso do solo. É por isso que se encontra muito, principalmente nas grandes cidades, a conversão de áreas instáveis em áreas edificadas, como encostas, margens de cursos d’água, entre outros, que deveriam ser, ao invés de utilizados para construções, preservados. Ao obter o conhecimento necessário sobre aquele ambiente e solo, se permite o mapeamento de características e propriedades e o uso adequado (PEDRON, 2007).

Para que o solo desempenhe suas determinadas funções, especialmente na engenharia, suas propriedades devem agir de forma concomitante às propriedades externas ao solo. A desenfreada urbanização sem planejamento, agrava ações e alterações morfológicas que causam ou não perdas materiais e humanas, qualidade de vida e geram custos de reparo, em consequência da falta de conhecimento prévio (RIBEIRO, 2008).

2.2. Caracterização dos solos da região de Goiânia

De acordo com o Zoneamento Ecológico Econômico do Município de Goiânia, a capital do estado de Goiás, possui uma área média de 726,88 km² e que, de acordo com o Plano Diretor, 61,08 % (444,0 km²) é composta de área urbana, enquanto 38,92 % é área rural (282,88 km²). A cidade é dividida em Macrozonas, Figura 1:

Figura 1 – Mapa das macrozonas de Goiânia.



Fonte: GOIÂNIA (2008).

A Macrozona construída é subdividida, grosso modo, por uma região norte que apresenta uma geologia predominantemente composta por rochas metamórficas de alto grau metamórfico e uma região sul, onde predominam rochas metamórficas de baixo a médio grau, compondo quase 80 % da macrozona construída (GOIÂNIA, 2008).

Os domínios pedológicos (solos propriamente ditos), são identificados em 4:

- Latossolos arenosos amarelo-avermelhados;
- Latossolos areno-argilosos, vermelhos-amarelados a amarelados, com altas concentrações de canga laterítica;
- Litossolos areno-argilosos, com concentrações de quartzo, quartzito e xisto;
- Gleissosolos, solos aluviais.

Considerando as abrangências desses tipos, os mais significativos são os latossolos avermelhados e os latossolos de natureza areno-argilosos vermelho-amarelados, finos, com ótima drenagem e rara exposição do lençol freático, com excelentes qualidades físicas (GOIÂNIA, 2008).

2.3. Os principais métodos de reconhecimento do solo

Na geotecnia, há diversas formas de prospecção e reconhecimento do solo e suas características, e estes são, muitas vezes, escolhidos de acordo com o tipo de obra, seja em tamanho, importância, tipo ou fim. Os métodos de reconhecimento dos solos podem ser classificados em (RIBEIRO, 2008):

- Métodos indiretos, que a determinação das propriedades é feita por consequência de alguns tipos de estímulos, como por exemplo resistividade ou velocidade de propagação de ondas.
- Métodos semidiretos, que informam as características do solo sem necessariamente a coleta de uma amostra.
- Métodos diretos, que são os mais utilizados, que são capazes de informar as características do solo a partir da coleta de uma amostra. São exemplos trados manuais e mecânicos, sondagens a percussão, rotativas e mistas.

2.4. Sondagem SPT (*Standard penetration test*)

O SPT é um dos mais tradicionais ensaios de prospecção e análise de solos utilizados no Brasil de forma geral. É regulamentado pela ABNT NBR 6484:2001 - Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio, que normatiza tanto os procedimentos a serem seguidos no ensaio quanto aos itens que devem ser apresentados no

relatório do ensaio e é indicado para pequenas e grandes obras.

De acordo com a norma, o ensaio consiste basicamente na inserção de uma haste em um furo previamente determinado, através da energia de um peso batente de 65 kg em queda livre, à uma altura de 75 cm, na parte superior da haste. Durante o SPT, são retiradas amostras do solo, que são enviadas ao laboratório e analisadas.

O relatório apresenta o índice de resistência a penetração (N, cuja determinação é dada pelo número de golpes necessários para a cravação de 30 cm da haste), nível d'água, bem como espessura das camadas (VELLOSO, 2010).

2.5. Métodos de análise e caracterização de solos

2.5.1. Método tátil visual

Dependendo do porte da obra, o método tátil visual é o único utilizado para se caracterizar o solo utilizado. Tem por objetivo classificar o solo, de uma forma mais geral, quanto a sua granulometria, plasticidade, consistência, forma, origem e cor. As formas com que se é caracterizado o solo neste método são simples (PIRES, 2013):

- A sensação ao tato é capaz de caracterizar sua aspereza. De modo geral, areias são mais ásperas que argilas e siltes.
- A plasticidade se dá a partir do molde de pequenos cilindros de solo úmido. Argilas são geralmente mais moldáveis que outras granulometrias.
- Resistência de torrões secos. Torrões de argilas são resistentes, de silte são poucos e areias não formam torrões.
- Cor dos solos, que se torna possível, além do tipo de solo, a identificação de matéria orgânica ou não. Embora menos comuns, podem ser identificados outros componentes químicos do solo.

2.5.2. Análise Granulométrica

O ensaio de análise granulométrica, normatizado pela ABNT NBR 7181:2016 - Solo - Análise granulométrica, visa a determinação dos padrões de distribuição do solo por tamanho de suas partículas. Consiste, basicamente, no peneiramento grosso e fino

do solo através de peneiras normatizadas e/ou a sedimentação de uma amostra, que possibilita a determinação do diâmetro equivalente das partículas do solo a partir da velocidade de queda em um determinado fluido, após a observação em normatizados intervalos de tempo, com o auxílio de densímetro e termômetro.

Os resultados de peneiramento são apresentados em um gráfico de curva granulométrica, que possui a abertura da peneira pela porcentagem que passa da amostra. Os resultados de sedimentação são apresentados em tabelas que apresentam o diâmetro e a porcentagem referente a esse diâmetro (DONAGEMMA, 2017).

2.5.3. Ensaio de CBR

O ensaio CBR, chamado no Brasil de Índice de Suporte California (ISC), é normatizado pela ABNT NBR 9895:2016 - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio, e consiste na relação entre a pressão necessária para se penetrar um pistão padronizado em uma determinada amostra de solo e a pressão necessária para penetrar uma brita padronizada pelo mesmo pistão. Assim deparando-se com um CBR igual a, por exemplo, 15 %, significa que esse solo possui 15 % da resistência a penetração da brita padrão.

Para obtenção do CBR, o ensaio é dividido em três etapas, que abrangem também os anteriormente citados (ensaios de compactação e expansão), o que permite a ligação entre eles (o uso do mesmo material) (DNIT, 2016):

- Compactação do corpo de prova, seguindo os procedimentos referenciados pela ABNT NBR 7182:2016 - Ensaio de compactação;
- Expansão, com o auxílio do cilindro e o extensômetro;
- Penetração do pistão padronizado na amostra de solo.

Posteriormente o resultado do CBR é expresso pela curva pressão aplicada pelo pistão x penetração do pistão.

2.6. Fundações

Fundações são os elementos estruturais com função de transmitir as cargas da estrutura ao terreno onde ela se apoia (AZEREDO, 1977).

De acordo com Alonso (2019) existem 3 condições mínimas que um engenheiro deve considerar ao projetar/executar uma fundação, sendo elas:

- Segurança;
- Funcionalidade;
- Durabilidade.

2.6.1. Fundações rasas

De acordo com a definição dos termos pela ABNT NBR 6122:2019, fundações rasas são aquelas em que todos os elementos estão assentados em uma profundidade de até duas vezes inferior que metade da menor dimensão da fundação, considerando a menor profundidade nos casos em que há inconstância da estrutura, ou aquelas em uma profundidade de até 3,0 m. Uma característica importante de fundações rasas é que equilibram as cargas apenas pela base, necessitando que a tensão admissível do solo próximo a superfície tenha alta resistência quando comparado com fundações profundas.

2.6.2. Fundações profundas

Ainda considerando a terminologia da ABNT NBR 6122:2019, são consideradas fundações profundas aquelas que, além de transmitirem as cargas da edificação para base, equilibram as forças através da resistência de fuste, ou resistência da superfície lateral. A relação entre a profundidade e a dimensão linear da base é superior a oito, sendo essa profundidade no mínimo igual a 3,0 m.

2.7. Capacidade de carga

Para o cálculo da capacidade de carga, ou seja, a tensão resistida pelo solo, Terzaghi (1943) considerou uma área em que o solo receberia os esforços da fundação, separadas em área de movimento, área de cisalhamento e área de compressão. Terzaghi conseguiu calcular assim a pressão que determinado solo é capaz de suportar, mediante os esforços que o solicitem e um coeficiente adequado de segurança na sua utilização.

Caputo (2015) escreve que essa capacidade de carga pode ser aumentada de acordo com o adensamento feito no solo, mas que essa característica deve ser estudada em conjunto com a deformidade do solo, pois um solo pode resistir a determinada carga, mas sua deformação geraria esforços na estrutura acima, podendo danificá-la.

Segundo AZEVEDO (1999), além da capacidade de carga, outros dois aspectos devem ser considerados para escolha de fundações, sendo eles o nível de carregamento e o tipo de estrutura.

3. METODOLOGIA

3.1. Levantamentos

O levantamento foi realizado na obra de loteamento do condomínio Plateau d'Or, localizado no bairro Parque Cidade, sudeste da região de macrozona construída, delimitada pelo Plano Diretor de Goiânia, no município de Goiânia/GO, contendo 1.641.586 m², divididos em duas áreas residenciais comercialmente denominadas "Privilege" e "Unique" totalizando 679 lotes, e área comercial, denominada "HUB comercial". Esses dados foram importantes na consideração da provável carga solicitada.

Foram levantados com a empresa responsável pelo empreendimento os dados referentes aos ensaios realizados pela empresa ENGESOL - Engenharia de Solos Ltda e projeto urbanístico desenvolvido pela *Broadway Malyan*. Tais dados foram levantados a partir de junho de 2012 a junho de 2020, sendo utilizados os dados mais atuais e de acordo com as especificações da ABNT NBR 6484:2001 para ensaios de SPT e ABNT NBR 9895:2016 para ensaios de CBR.

3.2. Método de geração dos mapas

A partir dos dados levantados foram gerados mapas de características do solo por interpolação dos pontos através do *software* QGIS.

QGIS ou Quantum GIS é um *software* SIG (sistema de informação geográfica) com interface simples, escrito e baseado nas bibliotecas abertas e gratuitas. É livremente distribuído com a licença GPLc (GNU *General Public License*) e é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), organização não governamental sem fins lucrativos cuja missão é apoiar e promover o desenvolvimento colaborativo de tecnologias e dados geoespaciais abertos. Um sistema de informação geográfica, também conhecido como GIS, é um sistema que reúne e trata informação espacial, procedimentos computacionais e recursos humanos, e que permite e facilita a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem. (MANGHI, CAVALLINI E NEVES, 2011)

Nele, foram inseridas uma planta base do condomínio em estudo, em formato DWG (*DraWinG format*), georreferenciada no sistema de coordenadas planas UTM (Universal Transversa de Mercator) e uma planilha em formato XLSX (MS Excel) que continha a identificação do ponto de ensaio, as respectivas coordenadas geográficas e os valores numéricos obtidos a partir dos ensaios realizados de SPT e CBR, desenvolvidas no *Software* AutoDESK AutoCAD, com dados obtidos do estudo de caso do empreendimento

O IDW (*Inverse Distance Weighted*) realiza a estimativa da variável ao longo do espaço, ponderando pesos a cada um dos valores mais próximos ao ponto para onde a variável está sendo calculada. Desta forma, o peso de cada valor é função do inverso de uma potência da distância, ou seja, quanto mais próximo do ponto a ser estimado, maior é o peso a ser atribuído ao valor amostrado. Segundo Mello *et al.* (2003) apud Junior *et al* (2012), o IDW é um interpolador amplamente utilizado com o expoente dois, por isto, o método recebe a denominação de inverso do quadrado da distância, entretanto, a utilização constante do expoente dois nas interpolações tornou-se uma das questões a serem analisadas, além do número mínimo de pontos para interpolação.

Foi utilizada uma renderização em Banda Simples Falsa-cor, que se assemelha às interpolações do tipo Kernel, que gera escalas de cores onde foi definido os valores de menores resistências em vermelho e os de maiores, em verde, dispostas em 20 classes (tonalidades de cor), a fim de gerar maior variabilidade e uniformidade nos pontos não ensaiados.

3.3. Significação das informações

A partir dos dados foram gerados mapas de características do solo por interpolação dos pontos através do *software* QGIS, sendo considerados 2 características diferentes:

- Nspt: foram gerados 4 mapas considerando os resultados de Nspt do solo, expondo os valores máximos e mínimos nas faixas de 0 a 5 metros de profundidade e 5 a 10 metros;
- CBR: foram gerados 2 mapas referentes aos valores de CBR, um com os valores mínimos de CBR na faixa de 0 a 2 metros de profundidade e um, na mesma faixa, mas indicando os valores máximos, resultados

retirados de um mesmo laudo, usando dois corpos de prova distintos.

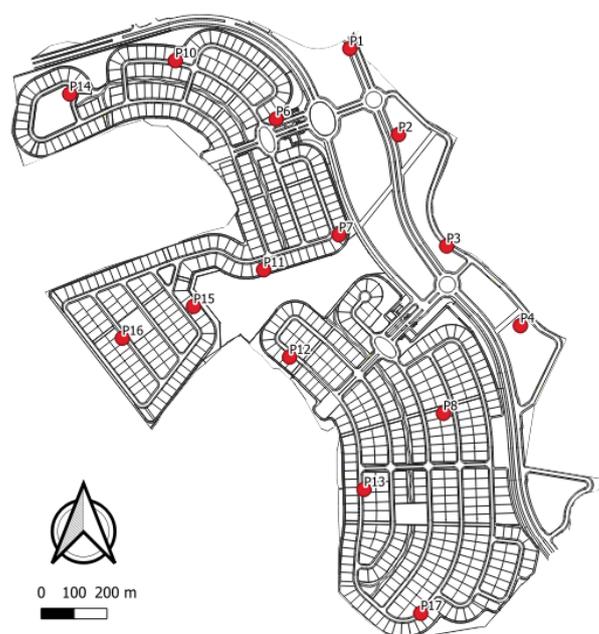
O mapa resultante do trabalho especifica áreas de solo de acordo com suas características, em seguida o texto relaciona tais características com possíveis usos, com foco em diferentes tipos de fundações que se adequam a cada tipo de solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Além das abordagens mais pontuais que se fazem possíveis apenas com os resultados dos ensaios de SPT e CBR, que na maioria dos casos são suficientes, há correlações que podem ser feitas a partir desses dados, que são capazes de refinar ainda mais os resultados obtidos e na forma com que são utilizados, e por isso o mapeamento foi capaz de expor mais informações e em uma área maior o que se espera desses ensaios.

Analisando os pontos do ensaio de SPT na área estudada, ensaio que denota maior variedade de pontos e posicionados de forma mais dispersa (Figura 2), foi possível obter-se por ensaio de granulometria, o tipo de solo predominante em cada ponto, nas faixas de profundidades estudadas (Quadro 1).

Figura 2 – Localização dos pontos de sondagem SPT.



Fonte: Dos autores (2020).

Foram realizadas sondagens do tipo SPT e sondagens tátil-visuais em pontos distribuídos por toda a área do empreendimento (Figura 2), mesmo em pontos onde não teriam edificações, como áreas de proteção

permanente, para maior abrangência dos resultados e melhor representatividade do estudo. Essas sondagens permitiram o desenvolvimento do Quadro 1.

Quadro 1 – Tipos de solos predominantes nos pontos estudados.

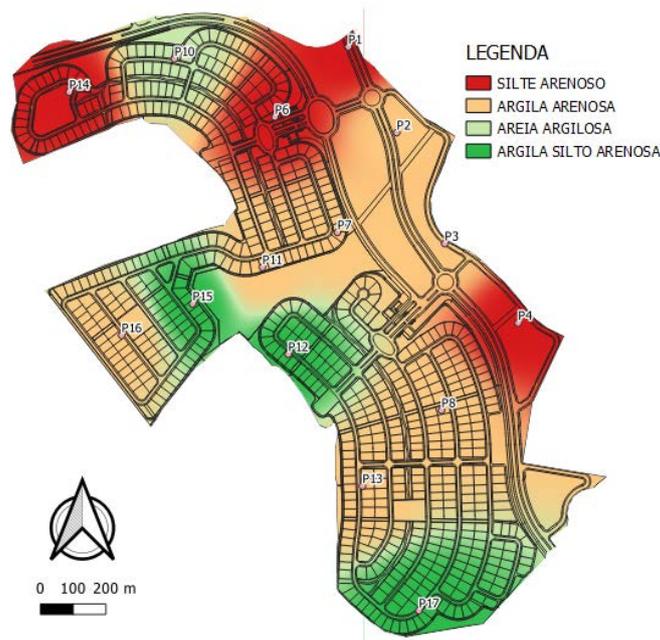
PONTO	TIPOS DE SOLO	
	0 a 5 m	5 a 10 m
P1	SILTE ARENOSO	SILTE ARENOSO
P2	ARGILA ARENOSA	SILTE ARENOSO
P3	ARGILA ARENOSA	AREIA ARGILOSA
P4	SILTE ARENOSO	SILTE ARENOSO
P6	SILTE ARENOSO	SILTE ARENOSO
P7	ARGILA ARENOSA	SILTE ARENOSO
P8	ARGILA ARENOSA	AREIA SILTOSA
P10	AREIA ARGILOSA	SILTE ARENOSO
P11	ARGILA ARENOSA	ARGILA SILTO ARENOSA
P12	ARGILA SILTO ARENOSA	ARGILA SILTO ARENOSA
P13	ARGILA ARENOSA	SILTE ARENOSO
P14	SILTE ARENOSO	SILTE ARENOSO
P15	ARGILA SILTO ARENOSA	ARGILA SILTO ARENOSA
P16	ARGILA ARENOSA	SILTE ARENOSO
P17	ARGILA SILTO ARENOSA	SILTE ARENOSO

Fonte: Adaptado de AASHTO (2020).

Nas Figuras 3 e 4 a seguir temos a apresentação descritiva por imagem, obtida através do software QGIS que representam no mapa o Quadro 1, que pela simplicidade poderia ser desenvolvido in situ.

Nota-se a preponderância de solos arenosos, com expressões entre silte e argila nas frações.

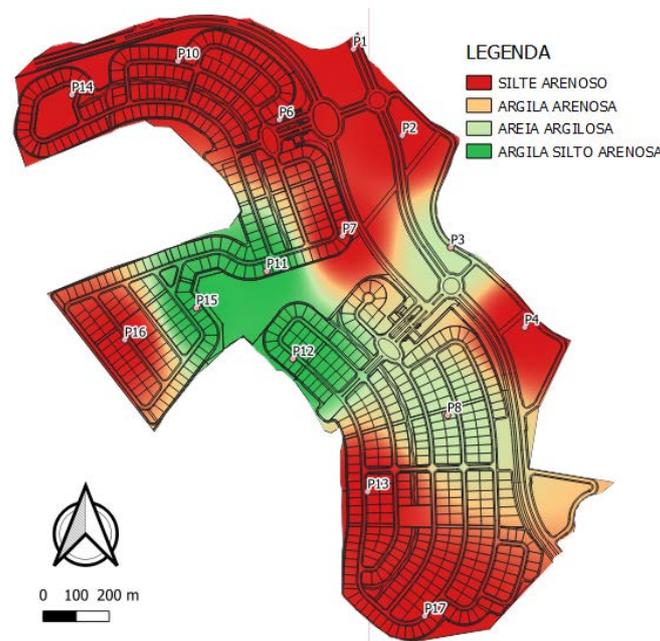
Figura 3 – Mapeamento dos tipos de solo de 0 a 5 metros de profundidade.



Fonte: Dos autores (2020).

Lima (1979) determina relações entre o N_{spt} e a tensão admissível do solo (Tabela 1 e Tabela 2), facilitando a escolha das fundações de acordo com a carga que pode ser recebida. Essas considerações requerem ainda a textura do solo para obtenção dos indicadores físicos do mesmo.

Figura 4 – Mapeamento dos tipos de solo de 5 a 10 metros de profundidade.



Fonte: Dos autores (2020).

Para a elaboração das Figuras 3 e 4 foram consideradas as características gerais das classes encontradas e

atribuídos valores numéricos a essas características, de forma que os números mais próximos significam características mais similares. Dessa forma foi possível confeccionar as apresentações descritivas com auxílio digital.

Analisando os valores de N_{spt} e os tipos de solo encontrados, é possível estimar a tensão admissível no ponto estudado. As Tabelas 1 e 2, publicadas por Lima (1979), trazem relações entre os valores obtidos pelo SPT e as tensões que o solo é capaz de suportar, para argila e areia, respectivamente:

Tabela 1 – Relação entre N_{spt} e taxas admissíveis para solos argilosos.

Argila	Nº de Golpes SPT	Tensões Admissíveis (Kgf/cm ²)	
		Sapata Quadrada	Sapata Contínua
Muito mole	≤ 2	< 0,30	< 0,20
Mole	3 - 4	0,30 - 0,60	0,20 - 0,45
Média	5 - 8	0,60 - 1,20	0,45 - 0,90
Rija	9 - 15	1,20 - 2,40	0,90 - 1,80
Muito rija	16 - 30	2,40 - 4,80	1,80 - 3,60
Dura	> 30	> 4,80	> 3,60

Fonte: Lima (1979).

Outros parâmetros que habitualmente são muito correlacionados com os resultados de SPT são a compactidade de solos arenosos e consistência de solos argilosos.

Tabela 2 - Relação entre N_{spt} e taxas admissíveis para solos arenosos.

Areia	Nº de Golpes SPT	Tensões Admissíveis (Kgf/cm ²)
Fofa	≤ 4	< 1,0
Pouco compacta	5 - 10	1,0 - 2,0
Medianamente compacta	11 - 30	2,0 - 4,0
Compacta	31 - 50	4,0 - 6,0
Muito compacta	> 50	> 6,0

Fonte: Lima (1979).

Terzaghi e Peck (1948), a partir de uma fórmula que leva em consideração os índices de vazios estudados em areias, publicaram a primeira relação, Tabela 3 entre os resultados obtidos nos ensaios de SPT com o grau de justaposição das partículas do solo, o índice de compactidade (I_D), que oferece parâmetros de compressibilidade.

Tabela 3 – Correlação do N_{spt} e I_D em areias.

N	Compactidade	I _D (%)
<4	Muito solta	<20
4-10	Solta	20-40
10-30	Medianamente densa	40-60
30-50	Densa	60-80
>50	Muito densa	80-100

Fonte: Terzaghi e Peck (1948).

Para os solos finos (argilas), Terzaghi e Peck, 1948, correlacionaram o N_{spt} e a consistência dos solos com o valor da resistência a compressão (q_u), conforme o Tabela 4.

Tabela 4 – Relação do N_{spt} com resistência de compressão em solos finos.

N	Consistência	q _u (kg/cm ²)
<2	Muito mole	<0,25
2-4	Mole	0,25-0,50
4-8	Média	0,50-1,00
8-15	Dura	1,00-2,00
15-30	Muito dura	2,00-4,00
>30	Rija	>4,00

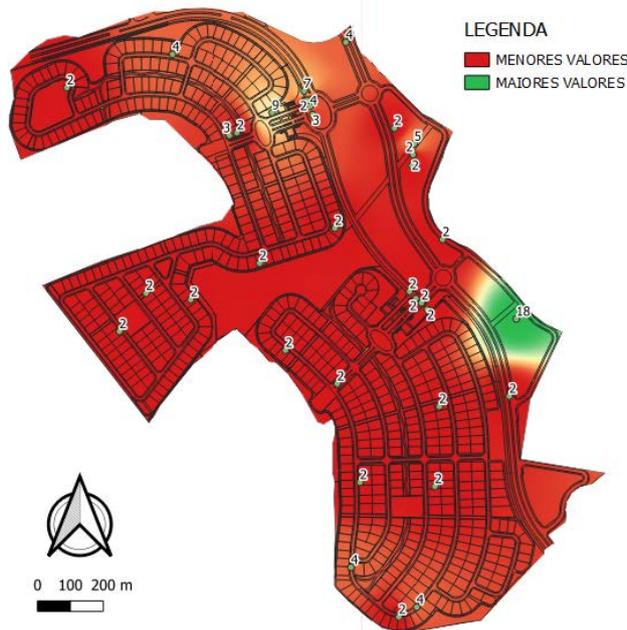
Fonte: Terzaghi e Peck (1948).

Os mapas gerados pelo N_{spt} apresentaram os resultados vistos nas Figuras 5 a 8. Os pontos em numerados e em cor marrom representam os pontos de prospecção, acompanhados pelos respectivos resultados. A escala de cores dos mapas indica os valores de N_{spt}, em escala, sendo em vermelho escuro aquelas com menores valores, em laranja os valores intermediários e em verde escuro os maiores valores encontrados.

As Figuras 5 e 6 apresentam os resultados das interpolações pelo *software* QGIS, para os valores de

resultados mínimos e máximos dos ensaios, na faixa de 0 a 5 metros de profundidade do solo, respectivamente.

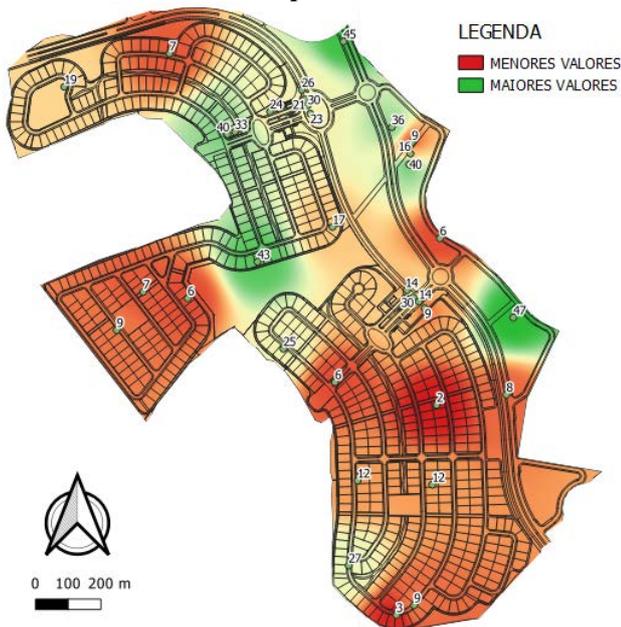
Figura 5 – Mapa de Nspts mínimos na faixa de 0 a 5 metros de profundidade.



Fonte: Dos autores (2020).

A Figura 5 apresenta os mínimos valores de Nspt encontrados na faixa de 0 a 5 metros de profundidade. É possível observar que o quarto superior, chamado a partir desse ponto de “norte dos mapas”, e centrais, tendem a se mostrar mais resistentes à penetração, com resultados de Nspt iguais a 4, 7, e até 18.

Figura 6 – Mapa de Nspts máximos na faixa de 0 a 5 metros de profundidade.

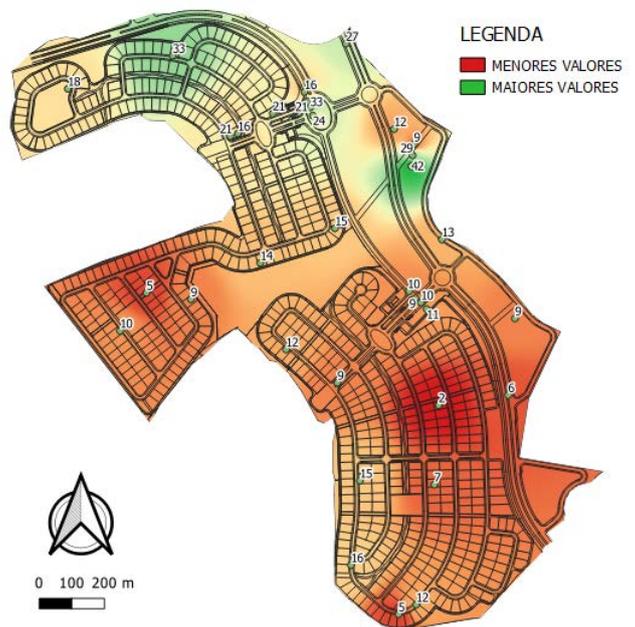


Fonte: Dos autores (2020).

Na Figura 4, que apresenta os máximos valores do mesmo ensaio e de mesma profundidade de solo (0 a 5 metros), reforça-se, em uma visão mais clara da região norte e centro leste, como as mais resistentes na faixa em questão, com valores que variam entre 40, 45 e 47. A região inferior, chamada de “sul do condomínio”, possui as menores resistências, nas profundidades analisadas.

As Figuras 7 e 8 apresentam os resultados das interpolações pelo *software*, para os valores de resultados mínimos e máximos do ensaio de SPT, na faixa de 5 a 10 metros de profundidade do solo.

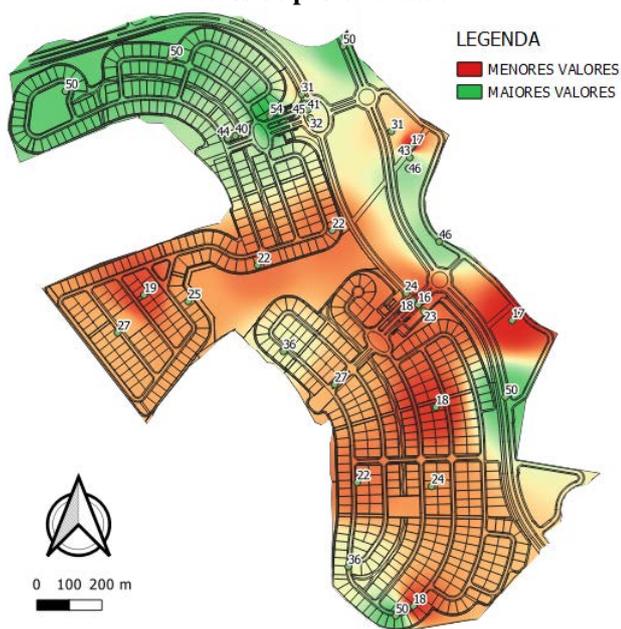
Figura 7 – Mapa de Nspts mínimos na faixa de 5 a 10 metros de profundidade.



Fonte: Dos autores (2020).

Ainda é possível perceber, nos valores mínimos da faixa de 5 a 10 metros (Figura 7), a região norte, presente no terço superior, como mais resistente, com Nspt variando entre 21, 33 até 42. A porção centro sul do condomínio tem predominância de solo com baixa à média resistência. Analisando os resultados obtidos no mapa de máximos da mesma faixa, Figura 8, a mesma porção centro sul adquire características que movem suas resistências a intervalos médios a altos, enquanto as partes norte e nordeste ainda possuem as resistências mais altas do condomínio.

Figura 8 – Mapa de Nspts máximos na faixa de 5 a 10 metros de profundidade.



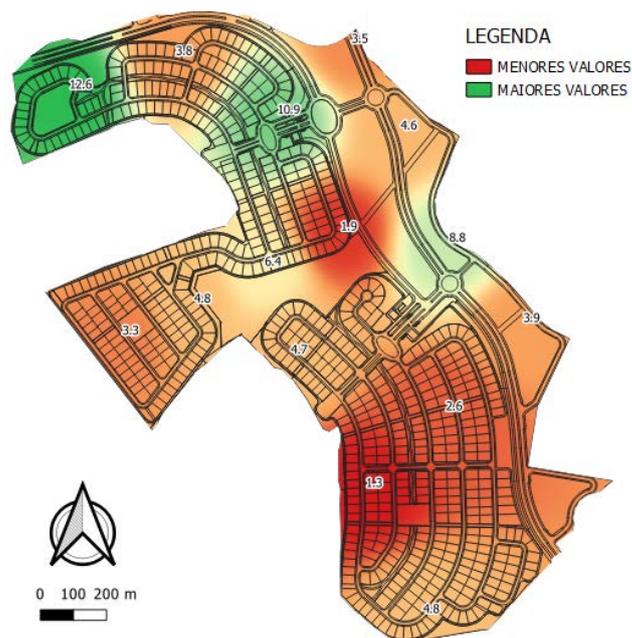
Fonte: Dos autores (2020).

Ferreira (2004) acrescenta que a inclusão de camadas (de aterro) para aumento do CBR, auxilia no controle de recalques, pois proporcionam melhor distribuição das tensões no solo e geram economias de material acima do solo, característica que se evidencia em camadas de sub-base de rodovias e pavimentações, por exemplo. Locais com CBR mais elevados têm melhor capacidade de receber fundações diretas.

Os mapas gerados a partir dos dados de resultados obtidos do ensaio CBR são vistos nas Figuras 9 e 10, ajustados e interpolados pelo software QGIS.

Comparando os resultados obtidos nos mapas de SPT e CBR, percebe-se o solo da região norte como o mais resistente entre as regiões, e, a região do centro ainda com bons indicadores nos resultados dos ensaios.

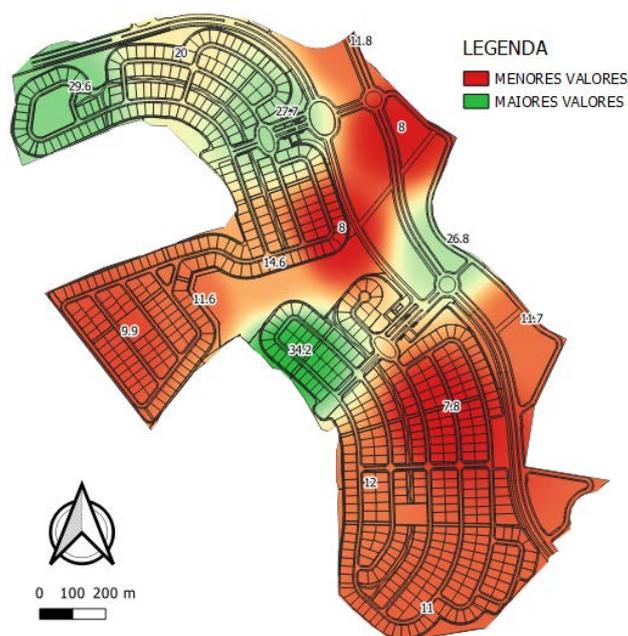
Figura 9 – Mapa de CBR mínimos na faixa de 0 a 2 metros de profundidade.



Fonte: Dos autores (2020).

Segundo Donisete (2016), em pavimentos rígidos, o CBR ideal do leito e subleito varia entre 5 a 8 %, enquanto para pavimentos flexíveis, de 10 a 12 %. Observa-se então que, ao analisar os mapas referentes aos dados de CBR, há porções de solo ao norte e centro do condomínio que são capazes de receber ambos os tipos de pavimentação, quanto aos parâmetros do autor.

Figura 10 – Mapa de CBR máximos na faixa de 0 a 2 metros de profundidade.



Fonte: Dos autores (2020).

Outras regiões, como a centro oeste, nordeste e sul, possivelmente necessitarão de reforços para que sejam supridas as necessidades de uma eventual obra de pavimentação.

A partir da análise dos mapas interpolados, conforme Figuras 5 a 10, se torna possível prever a reação à carregamentos, e possíveis usos relativos ao tema, do solo. Segundo Rebello (2008), em função dos resultados da sondagem e do grau de compacidade das argilas, é possível estimar um intervalo de N_{spt} entre 11 e 19 para que seja possível o apoio da fundação nessa camada. Para areias, o intervalo de N_{spt} varia entre 9 e 18 para a mesma fundação. Com os resultados obtidos através dos mapas gerados, observam-se porções ao norte, nordeste e centro leste que encaixam nos parâmetros do autor, desde as primeiras camadas de solo. As outras regiões, entretanto, se encaixam nos parâmetros quando a profundidade aumenta, visto que não obtiveram boa resistência superficial.

5. CONCLUSÕES

Analisando os mapas dos ensaios de SPT e CBR, observa-se que, nas primeiras camadas, as regiões norte, nordeste e centro leste oferecem dados de N_{spt} que variam de 23 a 47, e 31 a 50, respectivamente para os máximos das camadas até 5 e até 10 metros, que correspondem a boas resistências, e que conseqüentemente valores de tensão admissível, compacidade e consistência também são maiores, devida a direta proporcionalidade. Isso influencia que, em função dos parâmetros apresentados e dos intervalos de Rebello, há uma maior possibilidade que as camadas de 0 a 5 metros sejam capazes de suportar fundações do tipo direta, como sapatas, blocos e radiers.

Nas regiões sul e centro oeste, que não apresentam boas resistências de solo nas primeiras camadas, atingindo valores médios de N_{spt} de 2 a 12, mas que nas mais profundas aumentam variando entre 17 a 36, com picos de 50, a possibilidade maior é para que haja predominância de fundações mais profundas e indiretas, como exemplo estacas cravadas e hélices contínuas.

A partir da perspectiva apresentada no artigo, foi possível identificar também grande heterogeneidade do solo do condomínio em questão, tanto para a mesma profundidade quanto para pontos diferentes, o que

reforça sempre a importância do estudo preliminar do terreno.

6. AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter nos dado saúde e oportunidade de trabalhar em tempos incertos.

A André Altimare, pela disposição e suporte no uso das ferramentas eletrônicas QGIS, SIG e IDW.

Às nossas famílias, que nos incentivaram ao longo dessa jornada acadêmica.

A banca que aceitou o convite de participar dessa defesa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, U. R. **Previsão e controle das fundações**. Editora Blucher, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: solo – análise granulométrica**. Rio de Janeiro. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: solo – ensaio de compactação**. Rio de Janeiro. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895: solo – índice de suporte Califórnia (ISC) – método de ensaio**. Rio de Janeiro. 2016.
- AZEREDO, H. A. **O edifício até sua cobertura – Prática da construção civil**. 2.ed.: Edgard Blücher. São Paulo, 1977.
- AZEVEDO, S. **Desenvolvimento de um protótipo de Sistema especialista para escolha do tipo de fundações**. Porto Alegre, 1999. Tese de doutorado.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. Ed. 2015.
- CATEN, A. **Mapeamento digital de classes de solos: características da abordagem brasileira**. Revista Ciência Rural vol.4 no.1. Santa Maria. 2012
- DNER -PRO. **Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio**. 2016.
- DNER-PRO. **Sondagem de reconhecimento pelo método rotativo**. 1997.
- DNIT – 172 - **Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio**. 2016
- DONAGEMMA, G. K. et al. **Análise granulométrica. Embrapa Solos-Capítulo em livro técnico**. (INFOTECA-E), 2017.
- FILHO, E. **Sondagem Rotativa**. Montes Claros, 2016.
- FLORIANO, C. **Mecânica dos Solos**, Editora Sagah, 2016.

-
- FERREIRA, C. **Aspectos do coeficiente de recalque de solos da formação guabiro tuba**, São Carlos, 2004
- GOIÂNIA, Prefeitura Municipal de Goiânia. **Zoneamento Ecológico Econômico do Município de Goiânia**. Goiânia, 2008.
- LADEIRA, F. S. B. **A ação antrópica sobre os solos nos diferentes biomas brasileiros—terras indígenas e solos urbanos**. v. 3, n. 6, p. 127-139, 2012.
- LIMA, J. C. P. **Prospecção Geotécnica do subsolo**. Livros técnicos e científicos editora S.A. Rio de Janeiro-RJ, 1979.
- MANGHI, G., CAVALLINI, P., Neves, V. **Quantum GIS: Um desktop potente e amigável**. FOSSGIS, 2, 10–15. 2011.
- MELLO, C. R. de, LIMA, J. M., SILVA, A. M., MELLO, J. M., SILVA, M. S. (2003). **Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.27, n. 5, p. 925-933.
- PEDRON, F. **Levantamento e classificação dos solos em áreas urbanas: importância, limitações e aplicações**., 2007.
- PIRES, P. **Caracterização tátil visual, Granulometria e determinação do Teor de umidade**, 2013.
- REBELLO, Y CP. **Guia Prático de Projeto, Execução e Dimensionamento 3**. São Paulo, 2008
- RIBEIRO, D. **Estudos pré-construtivos – Prospecção geotécnica**, 2008.
- ROWE, P.W. – **The relevance of soil fabric to site investigation practice**. 12th Rankine Lecture, Géotechnique, 1972.
- SANTOS, R. M. M. dos. **Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no município de Goiânia**. 1997. Tese de Doutorado.
- TERZAGHI, K.; PECK, R.B. **Soils mechanics in engineering practice**. 2 ed. New York, John Willey & Sons, 1948.
- TERZAGHI, K. **Theoretical soil mechanics**. New York, John Willey & Sons, 1943.
- VELLOSO, D. & LOPES, F. R. **Fundações**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

RESOLUÇÃO n°038/2020 – CEPE

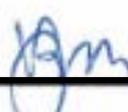
ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante VICTOR ZAKHIA MAGALHÃES do Curso de ENGENHARIA CIVIL, matrícula 2016.1.0025.0116-0, telefone: (62) 9. 9698-0707 e-mail vzhakhia@outlook.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado LEVANTAMENTO E MAPEAMENTO DO SOLO DE UM CONDOMÍNIO E RECOMENDAÇÕES SOBRE FUNDAÇÕES, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 11 de DEZEMBRO de 2020.

Assinatura do(s) autor(es): _____ 

Nome completo do autor: VICTOR ZAKHIA MAGALHÃES

Assinatura do professor-orientador: _____ 

Nome completo do professor-orientador: RODRIGO MARTINEZ CASTRO

RESOLUÇÃO n°038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante VINICIUS ROSA JUBE do Curso de ENGENHARIA CIVIL, matrícula 2016.1.0025.0118-7, telefone: (62) 9. 8310-2597 e-mail vinicius.jube@hotmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado LEVANTAMENTO E MAPEAMENTO DO SOLO DE UM CONDOMÍNIO E RECOMENDAÇÕES SOBRE FUNDAÇÕES, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 11 de DEZEMBRO de 2020.

Assinatura do(s) autor(es): _____ Vinicius Rosa Jube

Nome completo do autor: VINICIUS ROSA JUBE

Assinatura do professor-orientador: _____ RodMCastro

Nome completo do professor-orientador: RODRIGO MARTINEZ CASTRO