



MAPEAMENTO GEOTÉCNICO: ANÁLISE DE FUNDAÇÕES UTILIZADAS NO SOLO DE CASCAVEL – PARANÁ

REIS, Bruno da Costa¹
ALMEIDA, Maycon André²

RESUMO: Para o começo de uma nova construção é essencial que os Engenheiros Civis conheçam as características do solo em que a edificação será apoiada, este processo, em território nacional, é feito majoritariamente por meio de sondagens à percussão do tipo *Standard Penetration Test*. O objetivo geral da pesquisa foi identificar por meio de mapas geotécnicos desenvolvidos através do software Surfer 19, os tipos de fundações mais utilizados no município de Cascavel – PR. O estudo foi limitado à coleta de dados de 142 obras no município e as fundações utilizadas de acordo com o porte de obra foram exibidas nos mapas, os dados foram coletados através de empresas privadas de construção civil, órgãos públicos e pesquisa de campo. Os resultados demonstraram grande utilização de estacas escavadas com trado mecânico para obras pequenas e médias, devido ao solo e nível d'água favoráveis para o processo encontrado na região, mas para as obras de grande porte as fundações variaram de hélice contínua, escavadas com trado mecânico e tubulões.

Palavras-chave: Mapeamento Geotécnico, Fundações, Sistema de Informação Geográfica.

¹Bruno Da Costa Reis, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: 98brunoreis@gmail.com.

² Maycon André de Almeida, Mestre, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR.

1. INTRODUÇÃO

Para o começo de uma nova construção é de suma importância que o engenheiro civil conheça as características do solo em que a edificação será apoiada, para tanto, são realizadas investigações geotécnicas (sondagens), que fornecem informações como a resistência à penetração, nível d'água do local, espessura de camadas do solo e tipo de solo, por um custo executivo relativamente baixo. Por isso, o sistema de sondagem mais utilizado no Brasil é a sondagem à percussão também conhecido como *Standard Penetration Test (SPT)*.

Ao realizar as sondagens em diferentes regiões de uma cidade, é possível criar um banco de dados das investigações, este, pode atuar como forma de apoio a ações de planejamento e gestão urbana do município, bem como ser um subsídio ao meio acadêmico e profissional (SOARES, 2011).

Pode-se ampliar o estudo do solo de um local específico, realizado por meio das sondagens SPT, para uma região inteira, através da combinação do banco de dados das sondagens, um Sistema de Informações Geográficas (SIG), e a utilização de *software* para aplicação de procedimentos geoestatísticos. Por intervenção do SIG, são registradas as coordenadas de latitude (X) e longitude(Y) de pontos que foram executadas as investigações geotécnicas(Z), enquanto o *software* é utilizado para realizar a confecção dos mapas geotécnicos com maior precisão, por meio da interpolação dos dados de sondagens e suas respectivas coordenadas geográficas por intermédio de métodos matemáticos, como o de Krigagem.

Os mapas têm como objetivo principal auxiliar na determinação de locais adequados e seguros para a expansão urbana e apresentam dados como posição de lençol freático, resistência do solo ao longo da profundidade, tipos de fundações mais utilizadas, entre outros. A utilização do SIG para a confecção dos mapas geotécnicos de municípios é muito comum no meio acadêmico por ser uma técnica precisa e confiável, e, ainda, em diversas cidades do estado Brasileiro foram registrados estudos utilizando o método.

O presente trabalho teve como objetivo geral identificar os tipos de fundações mais utilizadas no município de Cascavel – PR de acordo com o porte de obras e características do solo local, utilizando como ferramenta um *software* geotécnico responsável por confeccionar mapas geotécnicos.

A justificativa do presente trabalho refere-se à análise e planejamento de utilização do solo de municípios, que se torna cada vez mais viável com o avanço da tecnologia, uma vez

que *softwares* podem auxiliar na interpretação matemática e estatística de um grande número de informações, considerando que já são realizados diversos estudos de método similar em território nacional e confirmando a sua aplicabilidade em regiões de diferentes características de solo. Considerando o exposto, para as obras de diferentes portes executadas no município, qual o tipo de fundação mais utilizado e quais os motivos que incitam os Engenheiros Civis a escolherem estes sistemas?

O estudo foi limitado à coleta de dados dos tipos de fundações mais utilizadas na cidade de Cascavel, Paraná, de acordo com seu porte e perfil de solo encontrado no local. A coleta de dados foi realizada pelo banco de dados de sondagens SPT previamente organizado por Jorge (2019), que foi atualizado com novas informações de obras realizadas após 2018, as quais foram fornecidas por órgãos públicos e privados.

Para se atingir o objetivo geral foram necessários alcançar os seguintes objetivos específicos:

- a) Definir por meio de pesquisa de campo os tipos de fundações mais utilizadas na cidade de Cascavel – PR, diferenciando por porte de obra e atualizando o banco de dados contendo estas informações;
- b) Alimentar banco de dados do *software* Surfer 19 e gerar mapas de acordo com o porte de obra;
- c) Analisar e interpretar os resultados dos mapas gerados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo são tratadas as classificações e características do solo, sondagens SPT, tipos de fundações, Sistema de Informações Geográficas (SIG) e *softwares* para a utilização do sistema, bem como análises estatísticas.

2.1.1 Solos

O solo é produto do intemperismo físico e químico das rochas, que, por estarem expostas à superfície terrestre, ficam sujeitas a ações de aquecimento, resfriamento, e da percolação da água no material, acarretando na modificação das características originais da mesma (VAZ, 2003).

As características e propriedades físicas do solo, portanto, estão ligadas aos diferentes agentes de alteração que incidem na rocha-mater. As intempéries podem agir simultaneamente

e predominar umas sobre as outras, gerando a diversidade de características dos solos (CAPUTO, 1996).

Uma das maiores ameaças que podem ocorrer no campo da Engenharia Civil é o início da obra sem o conhecimento preciso e suficiente da rocha ou solo que serão utilizados, com o fim de prever recalques prejudiciais, rupturas do terreno ou até mesmo colapso da obra, e adotar medidas preventivas para tanto (CAPUTO, 1996).

2.1.2 Fundações

Fundações são os elementos estruturais destinados a transmitir ao terreno as cargas de uma estrutura. Elas podem ser divididas em dois grandes grupos, as diretas (rasas) ou indiretas (profundas), conforme cita Azeredo (1997).

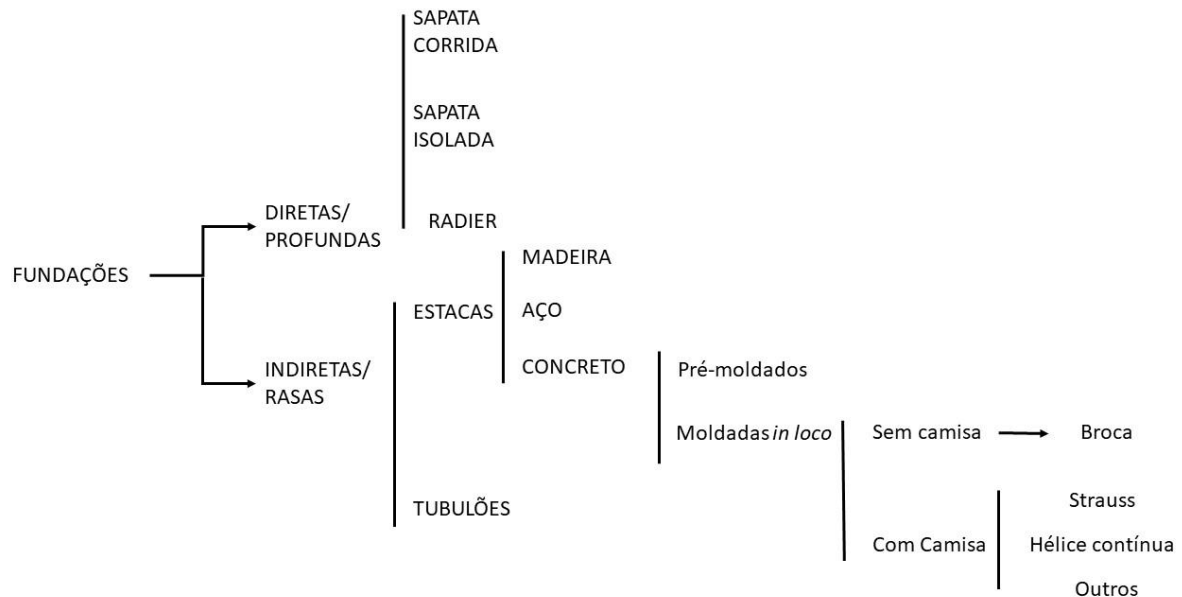
Fundações diretas são aquelas que transferem cargas para as camadas de solo por intermédio da base do elemento estrutural, considerando apenas o apoio da peça sobre a camada do solo. As fundações diretas podem ser divididas em rasas e profundas (ANDOLFATO, 2014).

- a) Fundação direta rasa: caracteriza-se assim pelo fato de a camada de suporte estar próxima à superfície do solo (até 3,0m) ou quando a cota de apoio é inferior à largura do elemento da fundação (ANDOLFATO, 2014).
- b) Fundação direta profunda: caracteriza-se dessa forma quando a fundação direta ultrapassa todos os limites descritos acima (exemplo: tubulões) (ANDOLFATO, 2014).

Fundações indiretas são aquelas que transferem as cargas por efeito de atrito lateral do solo e por efeito de resistência de ponta. O atrito lateral exige grandes dimensões do elemento de fundação, portanto, são todas profundas (ANDOLFATO, 2014).

A escolha do tipo de fundação irá variar de acordo com o porte da obra, o tipo de solo e os resultados observados em sondagens, que, em sua maioria, são feitas por *Standard Penetration Test*. Em esquema apresentado na Figura 1 adaptado de Azeredo (1997), apresentam-se os tipos de fundações utilizadas por Engenheiros Civis em obras, de acordo com a sua classificação:

Figura 1 - Tipos de fundações de acordo com sua profundidade.



Fonte: Autor, adaptado de Azeredo, (1997).

A ABNT NBR 6122 (2019) estabelece requisitos a serem observados em projeto e execução de fundações de todas as estruturas de engenharia civil. Através dela se define todos os tipos de fundações, investigações geotécnicas preliminares e complementares de acordo com o porte da obra, ações e segurança nas fundações verificando as situações de projeto quanto aos estados-limites últimos (ELU) e de serviço (ELS). Também define o desempenho das fundações por meio do monitoramento dos recalques, e apresenta procedimentos executivos a serem observados na execução de cada tipo de fundação.

2.1.3 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

O SIG é uma ferramenta utilizada nas pesquisas de georreferenciamento, responsável por fornecer dados convencionais e espaciais de uma localidade, e que possui diversas aplicações. Os Sistemas de Informação Geográfica possuem aplicações em estudos de ocupação humana (redes de infraestrutura, planejamento urbano, supervisão de limpeza), uso de terra (planejamento agropecuário, estocagem, mapeamento do uso da terra), uso de recursos naturais(classificação de poços petrolíferos, controle vegetal e mineral), meio ambiente (controle de queimadas, modificações climáticas) e atividades econômicas (marketing, pesquisas socioeconômicas) (SILVA, 2003).

Sistema de Informação Geográfica não é apenas um software integrado com várias funções, é um conjunto de ferramentas que possibilita a integração de dados georreferenciados (que contém posições geográficas cartesianas). Alguns componentes do SIG são imprescindíveis para o seu devido funcionamento, os quais podem ser assim elencados: Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados geográficos, procedimentos para obtenção, manipulação e exibição de dados com representação gráfica, e algoritmos e técnicas para análise de dados espaciais (SILVA, 2003).

O SIG fornece dados geográficos, porém, para o tratamento e apresentação desses dados em forma de mapa geotécnico, é necessário o uso de *softwares* específicos para aplicação de métodos geoestatísticos, por intermédio de algoritmos matemáticos que reduzem o erro estatístico e o tempo essencial para a confecção dos mapas, resultando em representações precisas e confiáveis (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002).

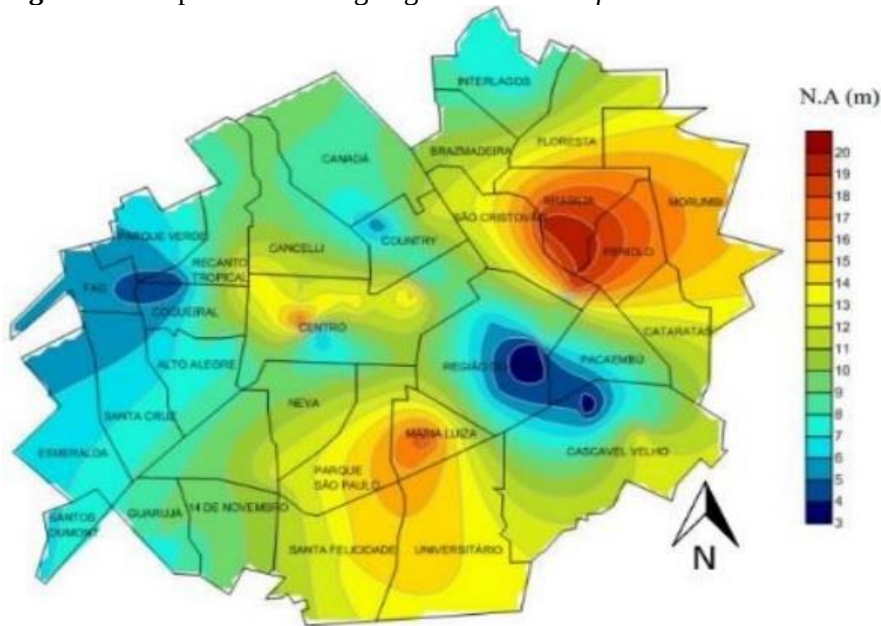
2.1.4 *Software* SURFER® 19

Por meio do *software* SURFER 19, é possível confeccionar mapas topográficos a partir de coordenadas e altitudes de pontos de um terreno, associando a essas coordenadas valores de outras variáveis, podendo-se obter um mapa da distribuição espacial para cada variável (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002).

A utilização do *software* para a confecção de mapas de fundações consiste em interpolar três variáveis, X, Y e Z. As variáveis X e Y são demarcadas pelos valores de coordenadas Leste-Oeste e Y as abscissas norte-sul. No entanto, o valor Z pode ser gravado no *software* por diversas variáveis como uma resposta geofísica de dado meio, cota topográfica, nível d'água, resistência do solo ou qualquer outra variável (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002).

Para a interpolação dos valores X, Y e Z, o *software* utiliza-se de métodos estatísticos de interpolação. O melhor método é aquele que gera resultados confiáveis, rápidos e satisfatórios ao usuário. Assim, a metodologia geoestatística, que tem como base para interpolação a Krigagem, pode atender algumas dessas necessidades (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002), a Figura 2 demonstra o mapa de nível d'água gerado pelo mesmo *software*, em estudo realizado em 2018.

Figura 2 – Mapa do nível d'água gerado com o *software* Surfer.



Fonte: Ali, Calegari e Almeida, (2018).

2.1.5 Análise estatística

A análise estatística em pesquisas pode ser vista como um conjunto de técnicas para planejar experimentos, obter dados, organizá-los, resumi-los, interpretá-los e deles extrair conclusões (MEDRI, 2011).

a) Média aritmética: divide-se a soma de todos os valores da série pelo número total de observações realizadas (MEDRI, 2011)

b) Desvio padrão: um baixo desvio padrão indica que os pontos dos dados tendem a estar próximos à média ou aos valores esperados, e um alto desvio padrão interpreta que os pontos dos dados estão dispersos (SICSU; DANA, 2012)

c) Krigagem: O método é recomendado para casos em que estiverem presentes tanto tendências regionais quanto anomalias locais, com dados irregularmente amostrados ou agrupados. Ainda, demonstra ser eficiente na confecção de mapas temáticos uma vez que evita a ponderação arbitrária dos pontos amostrados, estabelece limites de confiança dos resultados, maior precisão e confiabilidade ao tratamento estatístico (LANDIM, 2006).

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Trata-se de um estudo de levantamento de dados, em que realizou-se o mapeamento das fundações mais utilizadas de acordo com o porte das obras, na cidade de Cascavel, oeste do estado do Paraná.

Foi realizada pesquisa quantitativa por meio de um banco de dados de sistemas de fundações, de diversas obras realizadas na cidade de Cascavel – Paraná. Contou-se, também, com um SIG (Sistema de Informação Geográfica) para realizar o registro de coordenadas geográficas dos pontos onde foram coletados os dados, e a confecção de um mapa geotécnico com o *software* Surfer 19® que usa métodos de interpolação específicos para estudos geotécnicos, garantindo maior confiabilidade matemática aos resultados.

3.1.2 Caracterização da amostra

A pesquisa foi realizada no município de Cascavel – Paraná, localizado na região oeste do estado do Paraná. Ele tem uma população estimada de 328.454 habitantes (IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais – 2019), uma área territorial de 2.101,074 km² (IBGE – 2018) e um PIB per capita de R\$ 35.590,04 anuais (IBGE, dezembro/2017).

A cidade conta com investimento de indústrias, empresas de comércio e de serviços, e também é caracterizada por ser um polo educacional, contando com escolas e universidades de qualidade, que incitam o avanço tecnológico do município.

Visando ampliar as possibilidades tecnológicas, o Instituto de Planejamento de Cascavel proporciona, no site do município, gráficos geoestatísticos da cidade com o censo municipal, dados imobiliários (Figura 3) e rurais.

Figura 3 – Imóveis por pavimentos na cidade de Cascavel – Paraná.



Fonte: Indicadores Municipais, GeoCascavel, (2020).

O estudo feito por Ali, Calegari e Almeida caracteriza o solo do município como laterítico, compressível e heterogêneo (onde é possível encontrar capacidades de cargas de estacas diferentes em um mesmo terreno), e também apresentam através de mapas as médias de capacidades de carga para as diferentes regiões e métodos de cálculo.

Os autores Zen e Almeida, (2018) definiram através de testes laboratoriais no Campo Experimental de Engenharia Fag, as porcentagens de umidade, LL, LP, IP entre as profundidades do 1° ao 15° metro, bem como nas porcentagens dos tipos de grãos presentes, massa específica dos sólidos, entre outros. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos pelos autores de forma adaptada.

Tabela 1 – Valores médios por camadas.

VALORES MÉDIOS	1m a 9m	10m a 15m
w (%)	38,96	58,04
LL (%)	53,11	59,00
LP (%)	38,22	42,00
IP (%)	14,89	17,33
Silte (%)	25,26	34,63
Argila (%)	70,07	56,47
Areia (%)	4,67	8,9
Pedregulho (%)	0,00	0,00
Massa esp. Sólidos (kN/m ³)	26,69	27,05
	Muito mole a	
Consistência	média	Rija a Dura
Peso esp. Natural (kN/m ³)	16,68	16,16
Índice de vazios (e)	1,22	1,66

Fonte: Autor, adaptado de Zen e Almeida, (2016).

De acordo com a Tabela 1, foi possível conhecer os resultados obtidos dos testes, por meio deles, o solo pode ser classificado como argila silto arenosa (quando há a utilização de defloculante no teste), ou de silte argilo arenoso (quando da ausência de defloculante).

Com o resultado da sondagem realizada para o estudo apresentado, os autores ainda acrescentam os tipos de fundações mais viáveis que podem ser utilizadas na região onde a investigação geotécnica foi realizada, distinguindo-as por porte:

- a) Edificações de pequeno porte (1 a 3 pavimentos): Estacas cravadas com trado manual / mecânico ou Strauss (Zen e Almeida, 2018)
- b) Edificações de médio (4 a 10 pavimentos) / grande porte (≥ 11 pavimentos): Estacas cravadas com trado mecânico, hélice contínua, tubulões a céu aberto e estacas tubadas (*hollow auger*) quando da presença de nível d'água (Zen e Almeida, 2018).

3.1.3 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

Os dados foram coletados por intermédio das empresas privadas e setores de órgãos públicos que realizam as sondagens SPT, entre os meses de julho e setembro de 2020, onde foram agrupados os tipos de fundações de acordo com o porte das obras: pequenas, médias e grandes.

Para o agrupamento e separação dos dados será utilizado o *software Microsoft Excel* onde é possível realizar a confecção de tabelas. Desenvolvida pelo autor, a Tabela 2 classifica as fundações entre as obras de pequeno, médio e grande porte, levando em consideração:

- a) Pequeno porte: de 1 a 3 pavimentos;
- b) Médio porte: de 4 a 11 pavimentos;
- c) Grande porte: iguais ou superiores a 11 pavimentos.

Tabela 2 – Dados coletados das obras e inseridos no banco de dados.

N	QUANTIDADE DE PAVIMENTOS DA OBRA	TIPO DE FUNDAÇÃO DA OBRA	RUA	NUMERO	BAIRRO	PORTE DA OBRA	LONGITUDE	LATITUDE
---	---	--------------------------------	-----	--------	--------	---------------------	-----------	----------

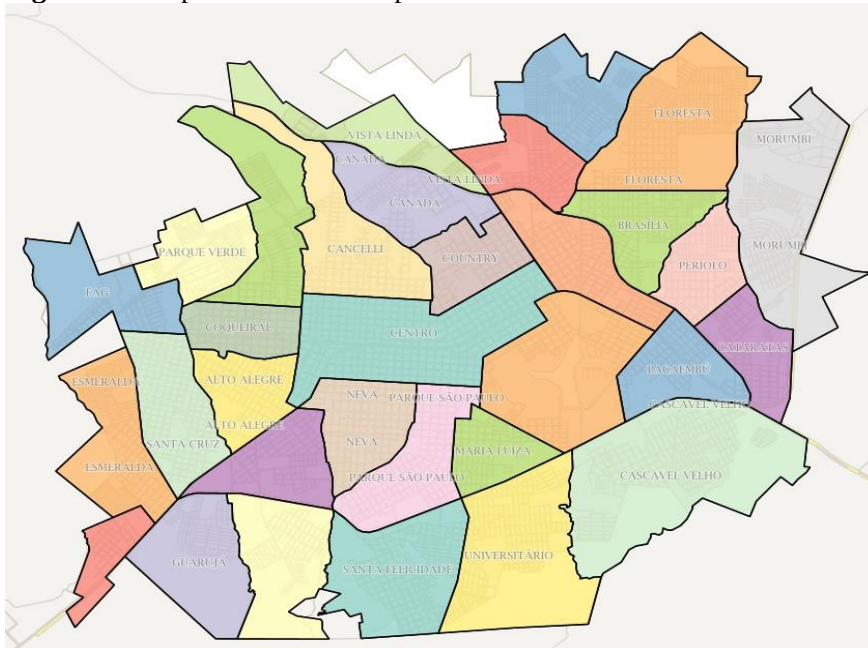
Fonte: Autor (2020).

O site da cidade de Cascavel/PR disponibiliza no setor GeoCascavel, o mapa base do município, com o perímetro da cidade, as delimitações de cada bairro (Figura 4) e também demonstra as coordenadas geográficas de qualquer ponto selecionado no mapa apresentado, podendo ser demonstradas em graus, minutos e segundos ou também em graus decimais (figura

8 e 9). Diante disso, este método, para adquirir coordenadas geográficas de um ponto qualquer, possui similaridades com o método a ser utilizado na pesquisa.

Para importar dados do sistema de Coordenadas Geográficas para um aplicativo SIG (exemplo: tabela do Excel contendo dados e coordenadas geográficas), é preciso converter as coordenadas geográficas de Graus, Minutos e Segundos para Graus Decimais (VALERIANO, 2020).

Figura 4 – Mapa base do município de Cascavel – Paraná.



Fonte: Instituto de Planejamento de Cascavel, IPC (2020).

Pode-se observar, pelo mapa, as coordenadas geográficas do centro do Bloco 1, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, em Grau Decimal ou Graus Minutos e Segundos, como demonstra a Figura 5.

Figura 5: Coordenadas geográficas do Bloco 1 do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz.



Fonte: Instituto de Planejamento de Cascavel, IPC (2020).

Com a planilha feita (Número de pavimentos, porte da edificação, tipo de fundação e coordenadas XYZ do ponto analisado), insere-se os dados no *software* Surfer 19®, que possibilita, por meio dos métodos de interpolações, a sobreposição do mapa base do município com os pontos dos dados analisados, gerando um mapa geotécnico que varia de acordo com a incógnita Z definida (nível d'água, relevo, espessura de camadas, entre outros).

Os dados interpolados são as incógnitas de coordenadas geográficas X e Y em Graus Decimais e a incógnita Z, definida pelo tipo de fundação encontrada no local. A partir da regulagem de variogramas e pelo modelo de interpolação de Krigagem, há uma estimativa de erro igual a zero, minimizando a variância de erros, e o ajuste global para eventos locais, onde os dados são transformados em uma superfície de grade utilizados para a exibição de mapas (JORGE, 2019).

3.1.4 Análise de dados

Após a coleta de relatórios de sondagens SPT, as informações de porte da edificação tipo de fundação executada, e coordenadas geográficas da obra foram tabuladas e apresentadas em forma de tabelas e gráficos. Os dados de coordenada geográfica X e Y e uma variável Z serão analisados por meio de *software* geoestatístico para a confecção de mapa geotécnico.

4. RESULTADOS

No presente capítulo são discutidos os resultados da coleta de dados, interpretando-os de acordo com a bibliografia apontada.

4.1.1 Dados Coletados

Para o presente estudo foram coletados dados de 35 obras realizadas no município, as quais seguiram adicionadas a um banco de dados criado em 2018 que contemplava 107 obras, contendo as mesmas informações, totalizando 142 obras. Destas, 83 são de pequeno porte, 47 de médio porte, e 12 de grande porte. A porcentagem de utilização de cada fundação para o determinado porte de obra foi definida pela Tabela 3.

Tabela 3 – Porcentagem de utilização de fundações por porte de obra.

PORTE DE OBRA	PORCENTAGEM DE UTILIZAÇÃO					
	TRADO MECÂNICO	HELICE CONTINUA	STRAUSS	APILOADA	TUBULÃO	PRÉ-MOLDADAS
PEQUENA	90.4	4.8	2.4	0.0	0.0	2.4
MEDIA	59.6	17.0	4.3	14.9	2.1	2.1
GRANDE	50.0	41.7	0.0	0.0	8.3	0.0

Fonte: Autor, (2020).

De acordo com os indicadores municipais apresentados, a porcentagem do porte de obras no município é de 75% constituído de pequenas obras, 17% são obras médias e 8% são grandes obras. Portanto, a pesquisa demonstrou na Tabela 4, a porcentagem de incidência do porte de obras para o banco de dados analisado.

Tabela 4 – Porcentagem de porte de obras do banco de dados utilizado.

PORTE DE OBRA	CONTAGEM DE OBRAS POR PORTE E POR TIPO DE FUNDAÇÃO UTILIZADA						
	TRADO MECÂNICO	HELICE CONTINUA	STRAUSS	APILOADA	TUBULÃO	PRÉ-MOLDADA	TOTAL
PEQUENA	75	4	2	0	0	2	83
MEDIA	28	8	2	7	1	1	47
GRANDE	6	5	0	0	1	0	12
							142

Fonte: Autor, (2020).

4.1.2 Análise Geral: Variogramas

A análise estatística clássica dos dados permitiu identificar a falta de dados, o desvio padrão, a média de valores, a Skewness que representa em valores numéricos a assimetria na distribuição espacial das amostras. Dessa forma, os valores mais próximos a zero representam maior homogeneidade, e a Curtose que compara a máxima diferença de um pico de uma distribuição com a distribuição normal dos dados. Tal processo foi importante para verificar se os dados coletados possuem coerência espacial e permitiu entender características dos dados coletados.

Os resultados encontrados foram disponibilizados pelo próprio *software*, que realiza as interpolações em *grid* para a criação dos mapas, e os dados discrepantes devem ser filtrados e/ou excluídos. Além disso, os resultados das análises de todas as obras estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Tabela exploratória das fundações.

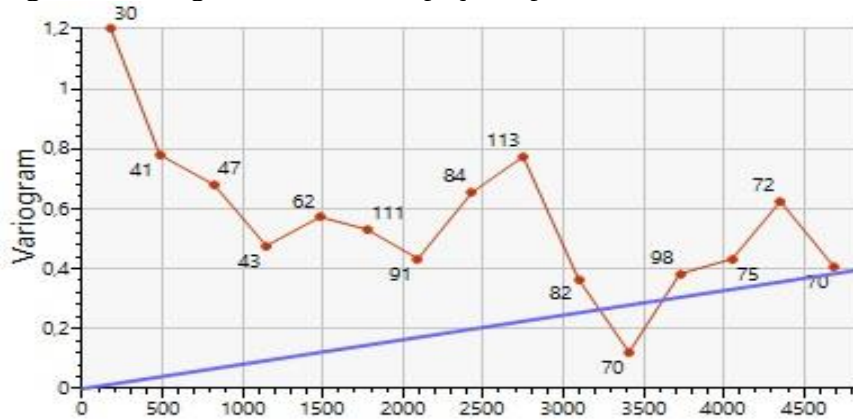
PORTE DE OBRA	QUANTIDADE DE OBRAS	%	Média	S	Skewness	Curtose
PEQUENA	83	58.45	4.88	0.64	4.42	24.75
MÉDIA	47	33.1	3.88	1.54	0.9	2.2
GRANDE	12	8.45	3.77	0.97	0.37	1.06

Fonte: Autor, (2020).

Dessa forma, observou-se que os valores de Skewness e Curtose para as obras de pequeno porte estão elevados, isso se responde ao analisar que alguns dados de obras pequenas estavam muito desorganizados espacialmente, e muitas vezes os pontos mais afastados não possuíam amostras suficientes para gerar valores mais homogêneos. Portanto, algumas obras tiveram que ser desconsideradas.

O variograma matemático é calculado por intermédio de equações pelo *software* Surfer 19, e o modelo mais apropriado é escolhido quando as curvas dos gráficos do modelo experimental e matemático são semelhantes, porém, isso é feito de forma automática ao inserir os dados no *software*. O variograma utilizado para a confecção dos mapas das obras de pequeno porte está demonstrado na Figura 6.

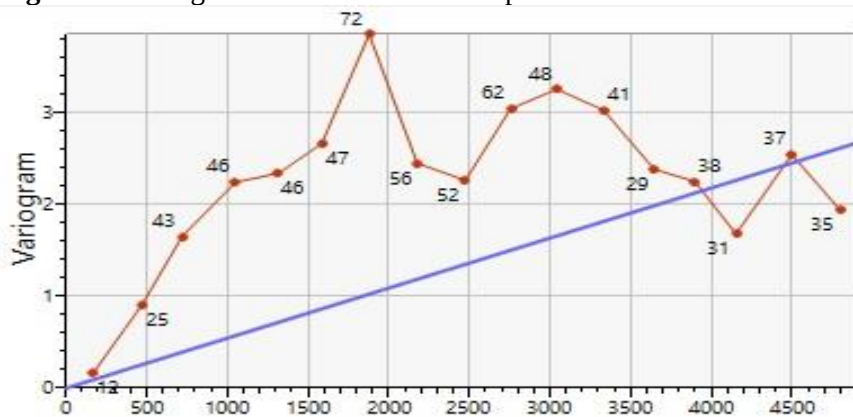
Figura 6: Variograma das obras de pequeno porte.



Fonte: Autor, (2020).

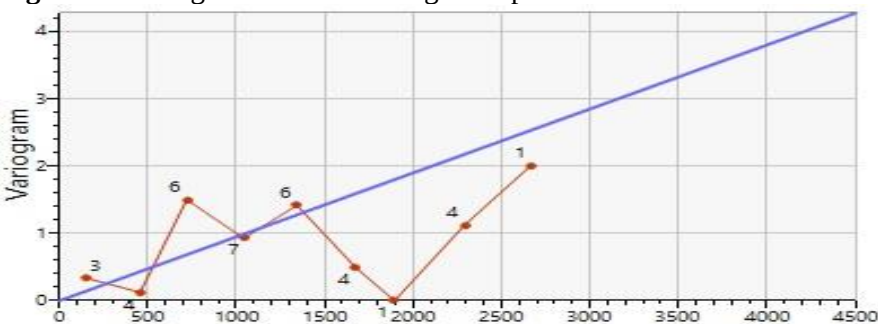
Os variogramas caracterizam a continuidade espacial dos valores analisados. O variograma experimental é calculado considerando a metade de cada valor Z observado ao quadrado, com uma distância de separação XY definidos. Como pode-se observar, os variogramas das obras de porte médio estão demonstrados na Figura 7, e grande porte na Figura 8.

Figura 7: Variograma das obras de médio porte.



Fonte: Autor, (2020).

Figura 8: Variograma das obras de grande porte.



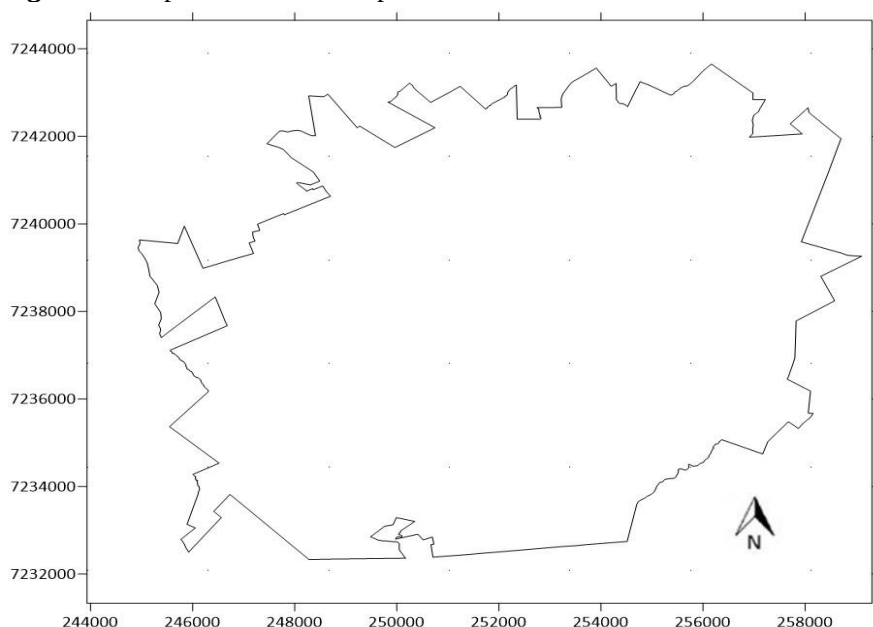
Fonte: Autor, (2020).

4.1.3 Distribuição das fundações no perfil Geotécnico

Para a elaboração do mapa geotécnico, utilizou-se do *software* Surfer 19, que é uma ferramenta de geoprocessamento utilizada para a manipulação de dados, entre eles, os obtidos pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG).

O mapa base do município é fornecido pelo Instituto de Planejamento de Cascavel – IPC através do GEOPORTAL em formato DXF, e demonstrado na Figura 9 quando inserido no *software* Surfer 19 apresenta em seus eixos X e Y as coordenadas limitantes do município em UTM SIRGAS 2000.

Figura 9: Mapa base do município.



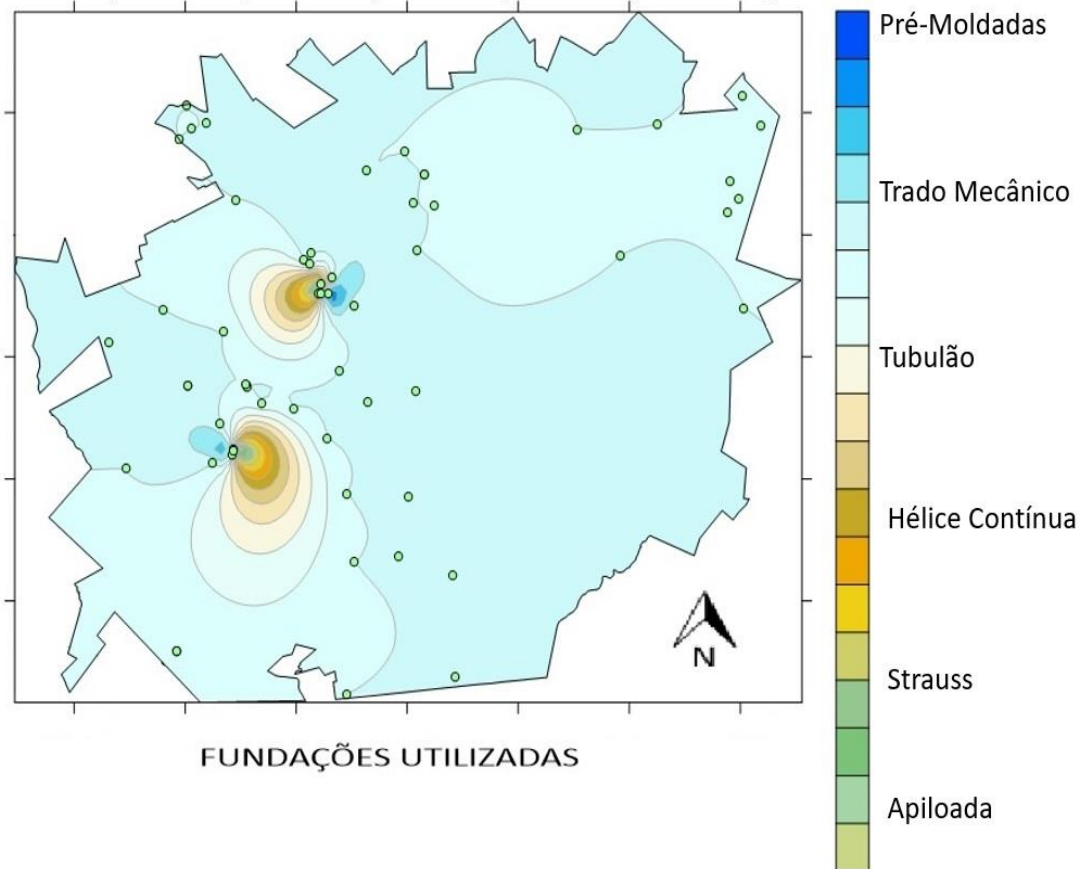
Fonte: Autor, (2020).

Para as obras de pequeno porte foram colhidos dados de 83 obras e demonstrados em mapa. Os dados foram coletados em Graus, Minutos e Segundos (GMS) pelo GEOPORTAL e *google* mapas, convertidos para Graus Decimais (GD) para então, serem calculados em UTM SIRGAS 2000 por meio de planilha disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O mapa apresentado demonstrou a utilização de fundações escavadas com trado mecânico em 90% das construções, isso se explica ao analisar o nível d'água conforme mostrou a Figura 10, onde pôde-se observar o nível mais alto em relação à superfície (-4m) apenas nas regiões Oeste e Sudeste. Por este fato, o sistema de Trado Mecânico torna-se um sistema de

fundação muito viável para as construções de diversos tamanhos, principalmente nos casos de pequeno porte (1-3 pavimentos).

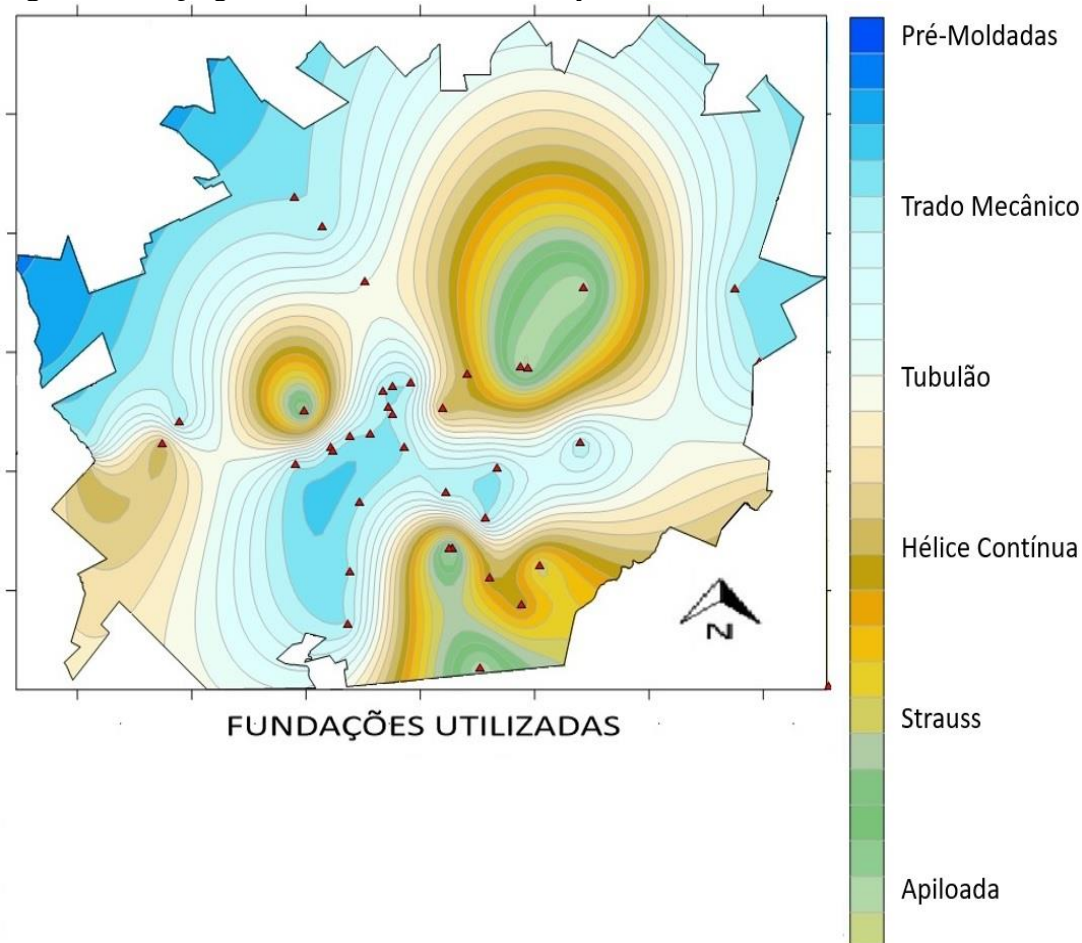
Figura 10: Mapa gerado demonstrando as fundações utilizadas em obras pequenas.



Fonte: Autor, (2020).

Nas obras de porte médio, foram apresentados dados de 47 obras e demonstrados na Figura 11 por meio de pontos inseridos no mapa base do município, como nas obras de pequeno porte. O mapa apresenta que o sistema de Trado Mecânico é utilizado em 60% das obras consideradas médias, 30% variam entre hélice contínua e apiloadas e 10% das obras são executadas com Strauss, Tubulão e Pré-Moldadas.

Figura 11: Mapa gerado demonstrando as fundações utilizadas em obras médias.



Fonte: Autor, (2020).

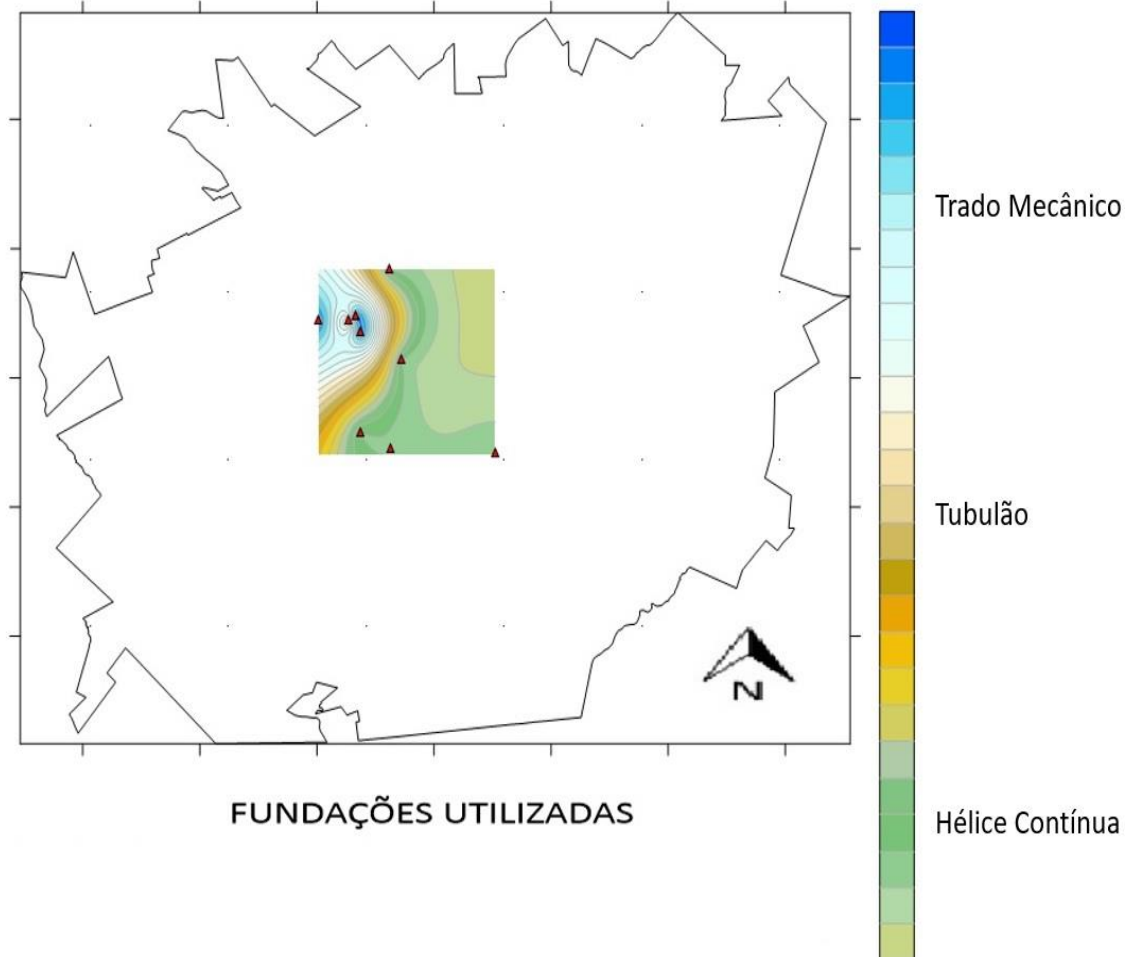
Devido ao solo argilo-arenoso do município, as escavações com trado mecânico ou hélice contínua são favoráveis por influência da coesão natural do solo, nível d'água profundo em relação à superfície, e pelas cargas atuantes nas construções de pequeno e médio porte não serem de valores extremamente altos. Nota-se a ausência da utilização de fundações diretas no município, isso se explica ao observar o solo colapsível na superfície e por ser muito fino, gerando grandes deformações, explicado também por Zen e Almeida (2018) ao classificar pelo sistema SUCS o solo como CH, argila compressível.

As fundações apiloadas aparecem em 15% das obras de médio porte, onde foi utilizado o sistema de fundação para a construção de diversos conjuntos habitacionais de um único proprietário espalhados pela cidade e que foram inseridos no banco de dados.

Para as obras de grande porte, foram analisados dados de 12 obras, a utilização das fundações para este porte de obra está apresentada na Figura 12. Como constatado por Jorge (2019), ainda há poucas amostras para obras maiores que 11 pavimentos no banco de dados

resultando em distorções geradas no gráfico. Por isso, para a solução do problema, é necessário que se expanda a coleta de dados para outras regiões da cidade.

Figura 12: Mapa gerado demonstrando as fundações utilizadas em obras grandes.



Fonte: Autor, (2020).

Nota-se a utilização de apenas 3 tipos de fundações para as obras de grande porte, sendo destas 50% escavadas com trado mecânico, 40% hélice contínua e 10% tubulões. O mapa apresenta em escala reduzida a região central da cidade, onde, de acordo com a Figura 2 possui o N.A entre -7m e -15m, sendo favorável para a utilização destes sistemas, dando atenção especial aos tubulões que possuem extrema resistência e são ideais para construções de grande porte.

4.1.4 Análise das zonas periféricas

Jorge (2019) apresenta que alguns dados foram filtrados e amostras atípicas que estavam gerando distorções nos mapas finais foram retiradas, logo, alguns pontos de zonas

periféricas foram desconsiderados. Isso também aplica-se ao presente artigo uma vez que alguns dados estavam gerando grandes diferenças de escalas nos mapas, e, por isso, tiveram que ser descartados ou ajustados.

Em comparação ao trabalho realizado por Jorge (2019), apresenta-se as regiões onde não foram considerados os dados, porém, houve a coleta de dados para obras de pequeno porte em novas regiões, como nos bairros: Morumbi, Cascavel Velho, 14 de novembro e Santos Dumont. Na Figura 13, apresenta-se os bairros onde não foram considerados dados das obras de pequeno porte.

Figura 13: Bairros não considerados nas análises de obras de pequeno porte.

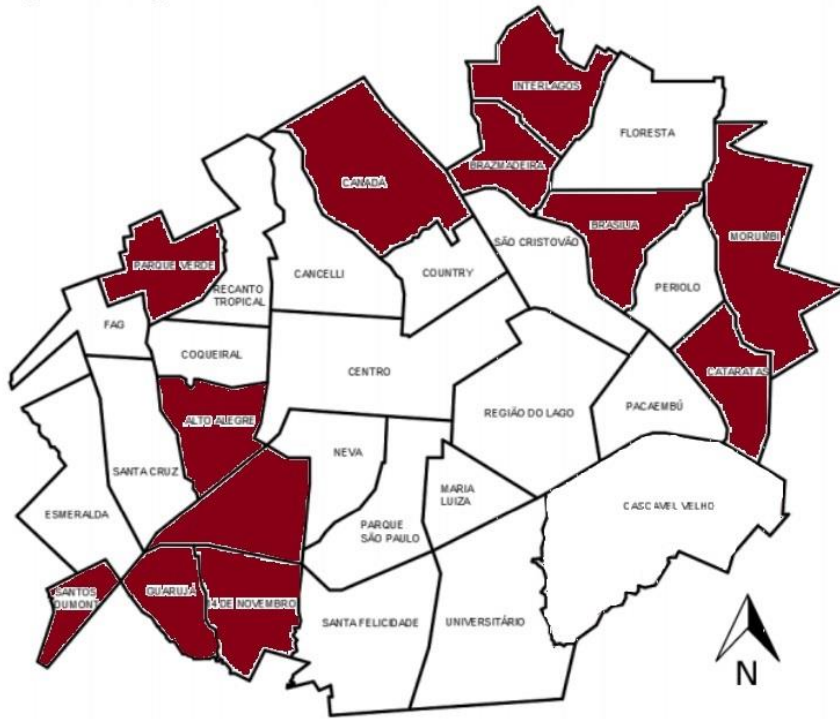


Fonte: Autor, (2020).

Para as obras de médio porte, os novos bairros onde foram adicionadas amostras foram: Santa Cruz, Esmeralda, Parque São Paulo, Cascavel Velho, Pacaembu, Períolo e Floresta, Universitário e Santa Felicidade.

Ressalta-se que em certas regiões periféricas da cidade ainda não é comum encontrar construções maiores que 4 pavimentos, para serem classificadas como porte médio, por motivos de desanimação de investidores ou por impedimentos resultantes do plano diretor municipal, realizado em 2017. A Figura 14 demonstra os bairros onde não foram considerados dados para as obras de porte médio.

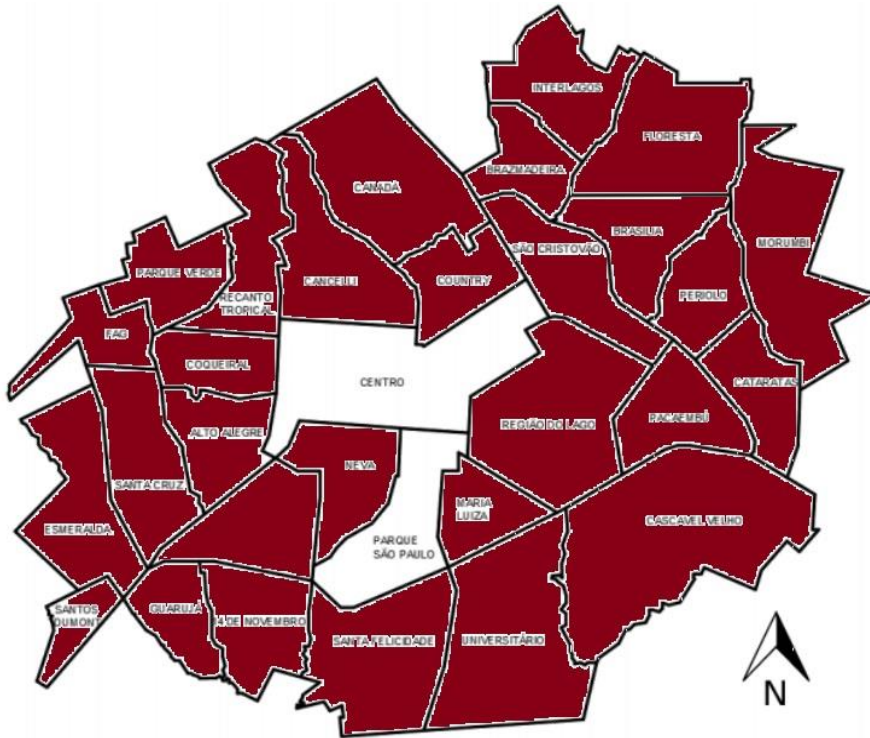
Figura 14: Bairros não considerados nas análises de obras de médio porte.



Fonte: Autor, (2020).

Para as obras de grande porte, a ausência de amostras ressalta-se ainda mais, pois não há demanda de mercado para construções de grande porte em regiões periféricas, ou então há impedições no plano diretor municipal para esse tipo de construção. Nesse caso, houve atualização de apenas um bairro no mapa: Parque São Paulo. Na Figura 15, demonstram-se os bairros não considerados pelas amostras das obras de grande porte.

Figura 15: Bairros não considerados nas análises de obras de grande porte.



Fonte: Autor, (2020).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por intermédio dos mapas produzidos pôde-se fazer uma representação gráfica da utilização de fundações em diferentes regiões do município e procurar responder por qual motivo os Engenheiros optam por estes sistemas. Assim, com a bibliografia publicada, percebeu-se que o solo encontrado no município de Cascavel é caracterizado como argila-arenosa, e que, de acordo com o sistema SUCS, trata-se de uma argila compressível, favorecendo a escolha dos sistemas de escavação mecânica e hélice contínua para todos os portes de obra, em que apenas os diâmetros das estacas são alterados.

O banco de dados utilizado no presente estudo consiste na atualização de uma pesquisa realizada por Jorge (2019), onde aquele continha informações de Endereço, Porte de Obra, Sistema de Fundação Utilizado e Coordenadas Geográficas de 107 obras realizadas no município de Cascavel - PR. No entanto, adicionaram os mesmos dados em outras 35 obras, totalizando 142 construções no território municipal, os quais foram fornecidos por órgãos públicos, empresas privadas e pesquisas de campo.

Os resultados apresentados para as obras de pequeno porte (de 1-3 pavimentos) apontam, por meio de mapas, que são utilizados os seguintes sistemas de fundações: 90%

escavadas com trado mecânico, 5% hélice contínua, 2,5% Strauss e 2,5% Apiloadas. O sistema escavado com trado mecânico apresenta abundância de utilização, isso se explica ao analisar o solo silte argilo-arenoso e o nível d'água que, em média, encontra-se a 10m abaixo da superfície no município, beneficiando executivamente a utilização deste tipo de fundação. Além disso, com a existência de mão-de-obra e de equipamentos no mercado, não é necessária a contratação de empresas terceirizadas de outras cidades para a execução das fundações.

Para as obras de porte médio (4-11 pavimentos), os sistemas de fundações são divididos da seguinte forma: 60% escavada com trado mecânico, 17% hélice contínua, 15% apiloadas, 4% Strauss, 2% tubulão e 2% pré-moldadas. Os sistemas escavados com trado mecânico e hélice contínua possuem grande presença nas obras de médio porte pelos fatores anteriormente citados nos resultados das obras de pequeno porte, e, por ainda conseguir atender as cargas exigidas nas obras médias. As obras médias, com fundações apiloadas, possuem presença no banco de dados por serem conjuntos habitacionais executados em grandes áreas e que não possuíam vizinhança próxima na época de sua construção. Portanto, este sistema foi o escolhido pela construtora para todos os conjuntos.

Para as obras de porte grande (11+ pavimentos), apenas 3 tipos de sistemas de fundação foram contabilizados: 50% escavadas com trado mecânico, 42% hélice contínua e 8% tubulões. As fundações escavadas com trado mecânico em obras grandes são utilizadas com diâmetros maiores de estacas, podendo atingir até 80cm, e como citado preteritamente o solo encontrado na região e o nível d'água profundo auxiliam na escolha desse tipo de fundação. As hélices contínuas são mais utilizadas em regiões onde o nível d'água está mais próximo à superfície, e como citam os resultados, a região central do município (onde encontram-se as obras de grande porte) possui um nível d'água com tal condição. Os tubulões também são executados, pois conseguem atingir grandes resistências, porém só conseguem ser construídos em regiões onde o nível d'água está profundo.

Em resumo, concluiu-se que, na cidade de Cascavel – PR, as fundações utilizadas para as obras de pequeno porte são as escavadas com trado mecânico e, para as obras de médio porte as escavadas com trado mecânico e hélice contínua, e para as obras de grande porte (onde devem ser coletadas mais amostras em pesquisas futuras) as fundações dividem-se em escavadas com trado mecânico, hélice contínua e tubulões.

Ressaltando que a grande utilização de um sistema de fundação não justifica a não realização de investigações geotécnicas. Por isso, os resultados obtidos por meio das



investigações somados às teorias de sistemas de fundações ainda continuam sendo o caminho mais seguro no momento da escolha do tipo de fundação a ser executada. O presente estudo pode ser utilizado como indicador econômico de execução de fundações para Engenheiros não regionais, bem como na interpretação do nível d'água municipal apresentado.

REFERÊNCIAS

ALI, A. F.; CALEGARI, D. V.; ALMEIDA, M. A. **Análise da Variabilidade do Solo Para Aplicação de Fundações em Estacas de Baixa Capacidade de Carga na Cidade de Cascavel - PR.** Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2018, Salvador. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: ROCHAS E SOLOS.** Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: SOLO - SONDAgens DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT - MÉTODO DE ENSAIO.** Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

AZEREDO, H. A. - **O EDIFÍCIO ATÉ SUA COBERTURA.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1997.

ANDOLFATO, R. **FUNDAÇÕES.** Araçatuba: Universidade Paulista - UNIP, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: PROJETO E EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES.** Rio de Janeiro, 2019.

CAPUTO, H. P. - **MECÂNICA DOS SOLOS E SUAS APLICAÇÕES: fundamentos.** Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos, 1996.

IPC, Instituto de Planejamento de Cascavel. **GEOPORTAL.** Prefeitura municipal de Cascavel, 2020.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **CALCULADORA GEOGRÁFICA.** 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **CASCADEL,**2020.

JORGE, J. A. - **MAPEAMENTO DAS FUNDAÇÕES MAIS UTILIZADAS EM EDIFICAÇÕES NA CIDADE DE CASCAVEL-PR.** Curso de Engenharia Civil, FAG, Cascavel, 2019.

LANDIM, P.M.B., MONTEIRO, R. C.& CORSI, A.C. **Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER.** DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, 2002.

Landim, P.M.B. **Sobre Geoestatística e mapas.** Terræ Didatica, 2006.

LEITE, M. E. - **GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO ESTUDO DO ESPAÇO URBANO: O CASO DA CIDADE DE MONTES CLAROS/MG.** Uberlândia, 2006.

MEDRI, W. **ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS.** Curso de Estatística, Uel, Londrina, 2011.

MARAGNON, M - **Métodos Diretos para Cálculo da Capacidade de Carga por meio do SPT.** Juiz de Fora, 2009.

SOARES, W. C. - **BANCO DE DADOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS COM BASE EM SONDAGENS À PERCUSSÃO E USO DE SIG: ANÁLISE ESPACIAL DA PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO E DO NSPT PARA OBRAS DE FUNDAÇÃO EM JOÃO PESSOA - PB.** Curso de Geotecnia, USP, São Carlos, 2011.

SILVA, L. T. - **BANCO DE DADOS DE SISTEMAS GEOGRÁFICOS.** Curso de Ciência da Computação, UNIPAC, Barbacena, 2003.

SICSÚ, A. L.; DANA, S. **Estatística aplicada: análise exploratória de dados.** São Paulo: Saraiva, 2012.

THIESEN, S. - **APLICAÇÃO DE FERRAMENTA SIG PARA MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E CARTAS DE APTIDÃO PARA FUNDAÇÃO A PARTIR DE ENSAIOS SPT: UM ESTUDO DE CASO EM BLUMENAU/SC.** Curso de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2016.



VAZ, L. F. - **ORIGEM E TIPOS DE SOLOS**. São Paulo: Unicamp, 2003.

VALERIANO, S. - **PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS UTILIZADAS NO BRASIL: sistema de referência de coordenadas**, 2020.

ZORZI, C. - **CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS TROPICAIS LATERÍTICOS PARA REFORÇO DE PAVIMENTOS**. Curso de Engenharia Civil, Usf, Itatiba, 2008.

ZEN, B. A. B. - **CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO SUBSOLO DO CAMPO EXPERIMENTAL DO CENTRO ACADÊMICO DA FAG EM CASCAVEL/PR**. Curso de Engenharia Civil, FAG, Cascavel, 2016.