

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

GUILHERME ALVES MORAIS

**ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS PARA SUPORTE NA ANÁLISE DO
PERFIL DO SOLO EM UMA ÁREA DA REGIÃO SUDOESTE DO PLANO
DIRETOR DE PALMAS/TO**

PALMAS

2021

GUILHERME ALVES MORAIS

**ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS PARA SUPORTE NA ANÁLISE DO
PERFIL DO SOLO EM UMA ÁREA DA REGIÃO SUDOESTE DO PLANO
DIRETOR DE PALMAS/TO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia Civil do
Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas,
como exigência à obtenção do grau de bacharel
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Cleber Decarli de Assis

PALMAS

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

M828e Morais, Guilherme Alves
 ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS PARA SUPORTE NA
 ANÁLISE DO PERFIL DO SOLO EM UMA ÁREA DA REGIÃO
 SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS/TO / Guilherme Alves
 Morais. – Palmas, TO, 2021.
 127 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2021.

Orientador: Me. Cleber Decarli de Assis

1. Banco de dados geológico-geotécnico. 2. Sondagem à percussão
(SPT). 3. Krigagem. I. Assis, Cleber Decarli de. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

GUILHERME ALVES MORAIS

**ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS PARA SUPORTE NA ANÁLISE DO
PERFIL DO SOLO EM UMA ÁREA DA REGIÃO SUDOESTE DO PLANO
DIRETOR DE PALMAS/TO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia Civil do
Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas,
como exigência à obtenção do grau de bacharel
em Engenharia Civil.

Aprovado em: 10/05/2021

BANCA AVALIADORA



Prof. Msc. Cleber Decarli de Assis
Orientador



Prof. Me. Edvaldo Alves dos Santos – IFTO



Prof. Dr. Osvaldo Freitas Neto - UFRN

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, em especial à minha esposa Larissa Cristina Gomes da Silva Moraes, que tanto me apoiaram nessa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me capacitar e me dar força para concluir essa trajetória.

Agradeço ao meu orientador Prof. Msc. Cleber Decarli de Assis, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Agradeço à Técnica Engenharia, representada pelo Eng. Edvaldo José Cordeiro, por não medir esforços para o apoio nessa pesquisa.

Agradeço aos meus colegas de trabalho pelo apoio e compreensão no decorrer da elaboração desse trabalho, em especial ao Eng. Rafael Teles Cordeiro, que tanto me apoiou e aconselhou nessa trajetória.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, em especial à minha amada esposa, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa, muito obrigado!

RESUMO

MORAIS, Guilherme Alves. **ELABORAÇÃO DE CARTAS PARA SUPORTE NA ANÁLISE DO PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE ÁREA DELIMITADA NA REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS/TO.** 2021. 127 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2021.

O trabalho em questão trata-se de um estudo geotécnico realizado na capital do estado do Tocantins para obtenção de informações de seus solos. Dessa forma, foi desenvolvida a estruturação de um banco de dados geológico-geotécnico, compreendendo 392 laudos de sondagem à percussão (SPT), os quais estão distribuídos em uma área delimitada na região sudoeste do plano diretor de Palmas/TO, considerada pelo mesmo uma área de desenvolvimento econômico. Os dados foram organizados de modo a permitir seu tratamento e espacialização em um sistema de informação geográfica (SIG) através do método de interpolação krigagem. Com isso, foram elaboradas cartas que auxiliam na análise do perfil geológico-geotécnico da área estudada, sendo elas: carta da profundidade do impenetrável ao SPT, carta da profundidade do nível d'água para os períodos seco e úmido, e cartas do estado de compacidade e consistência do solo para as profundidades de 1 a 12 metros. Sendo assim, os resultados desse estudo permitem o conhecimento geográfico de características do solo provenientes do ensaio SPT, fornecendo informações necessárias na tomada de decisão de trabalhos de engenharia e úteis para o planejamento urbano da área delimitada. É importante destacar que os resultados expressos através desse trabalho não eximem a necessidade das investigações de campo exigidas pela NBR 8036 (1983).

Palavras-chave: Banco de dados geológico-geotécnico. Sondagem à percussão (SPT). Krigagem.

ABSTRACT

MORAIS, Guilherme Alves. **ELABORATION OF CHARTS FOR SUPPORT IN THE ANALYSIS OF THE GEOLOGICAL-GEOTECHNICAL PROFILE OF A DETERMINED AREA IN THE SOUTHEAST REGION OF THE PALMAS/TO DIRECTOR PLAN**. 2021. 127 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2021.

The work in question is a geotechnical study carried out in the capital of the state of Tocantins to obtain information on its soils. Thus, it was developed the structuring of a geological-geotechnical database, comprising 392 standard penetration tests (SPT), which are distributed in an area delimited in the southwest region of the Palmas/TO director plan, considered by the same economic development area. The data were organized to allow their treatment and spatialization in a geographic information system (GIS) through the kriging interpolation method. Thereby, it was elaborated maps that help in the analysis of the geological-geotechnical profile of the studied area, which is: chart of the impenetrable to the SPT depth, chart of the water level depth for the dry and humid periods, and charts of the soil compactness and consistency for depths from 1 to 12 meters. Therefore, the results of this study allow the geographic knowledge of soil characteristics from the SPT test, providing necessary information in the decision-making of engineering works and useful for urban planning of the delimited area. It is important to highlight that the results expressed through this work do not exempt the need for field investigations required by NBR 8036 (1983).

Keywords: Geological-geotechnical database. Standard Penetration Test (SPT). Kriging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Carta de profundidade do impenetrável em Palmas/TO	26
Figura 2 – Carta da profundidade do nível da água em Palmas/TO.....	27
Figura 3 – Perfil eletrorresistivo do espaço Cultural de Palmas/TO	28
Figura 4 – Seção de resistividade elétrica do Espaço Cultural de Palmas/TO no início do período chuvoso, parte Sul	28
Figura 5 – Mapa da tensão admissível em MPa no setor 1 em João Pessoa/PB	29
Figura 6 – Mapa da tensão admissível para fundação superficial da zona urbana de Blumenau/SC.....	30
Figura 7 – Exemplo da planilha geral para cadastro das sondagens	38
Figura 8 – Exemplo da planilha com descrição em profundidade das sondagens	38
Figura 9 – Semivariograma e seus componentes.....	47
Figura 10 – Representação da atuação do semivariograma sobre o conjunto de dados.	49
Figura 11 – Mapa de Macrozoneamento	53
Figura 12 – Área de Desenvolvimento econômico estudada no trabalho	54
Figura 13 – Pastas para armazenamento dos dados.....	55
Figura 14 – Região Sudoeste do Plano Diretor de Palmas – TO.....	55
Figura 15 – Área de estudo delimitada.....	56
Figura 16 – Laudo de Sondagem.....	57
Figura 17 – Obtenção de coordenadas através do <i>Google Earth</i>	58
Figura 18 – Digitalização das informações dos laudos de sondagem	58
Figura 19 – Isovalores do índice de resistência à penetração.....	60
Figura 20 – Tabela XY Para Ponto.....	63
Figura 21 – Tabela de atributos para Profundidade de Impenetrável.....	64
Figura 22 – Tabela de atributos para Profundidade do Nível d’água.....	64
Figura 23 – Tabela de atributos para designação de Solo	65
Figura 24 – Assistente de Geoestatística.	66
Figura 25 – Semivariograma e Validação Cruzada: Linear	67
Figura 26 – Semivariograma e Validação Cruzada: Potência	67
Figura 27 – Semivariograma e Validação Cruzada: Curva Paramétrica Plana Fina	67
Figura 28 – Mapa temático da localização dos pontos de sondagem estudados	69
Figura 29 – <i>Buffer</i> de 316 metros para o conjunto de dados da profundidade do Impenetrável	71

Figura 30 – <i>Buffer</i> de 500 metros para o conjunto de dados da profundidade do Impenetrável	72
Figura 31 – <i>Buffer</i> de 1000 metros para o conjunto de dados da profundidade do Impenetrável	73
Figura 32 – Histograma mensal da precipitação pluviométrica na área de estudo.....	74
Figura 33 – <i>Buffer</i> de 1000 metros para o conjunto de dados de N.A. para o período úmido .	75
Figura 34 – <i>Buffer</i> de 1000 metros para o conjunto de dados de N.A. para o período seco	76
Figura 35 – Criação de Máscara de contorno da Feição.....	77
Figura 36 – Exportação de camadas GA para <i>Rasters</i>	77
Figura 37 – Simbologia para carta da Profundidade do impenetrável	78
Figura 38 – Simbologia para carta da Profundidade do nível d'água	78
Figura 39 – Simbologia para cartas da designação do solo	79
Figura 40 – Carta da profundidade do impenetrável	81
Figura 41 – Carta da profundidade do nível d'água para o período úmido.....	82
Figura 42 – Carta da profundidade do nível d'água para o período seco	83
Figura 43 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 1 metro de profundidade	85
Figura 44 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 2 metros de profundidade	86
Figura 45 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 3 metros de profundidade	86
Figura 46 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 4 metros de profundidade	87
Figura 47 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 5 metros de profundidade	88
Figura 48 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 6 metros de profundidade	88
Figura 49 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 7 metros de profundidade	89
Figura 50 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 8 metros de profundidade	90
Figura 51 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 9 metros de profundidade	90

Figura 52 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 10 metros de profundidade 91

Figura 53 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 11 metros de profundidade 92

Figura 54 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 12 metros de profundidade 92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Medidas de localização e medidas de dispersão.....	40
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens do interpolador inverso ponderado da distância	42
Quadro 3 – Vantagens e desvantagens do interpolador krigagem.....	43
Quadro 4 – Comparação entre os métodos de interpolação apresentados.....	45
Quadro 5 – Quantidade de dados considerados nas análises.....	70
Quadro 6 – Quantidade de dados considerados para os períodos úmido e seco	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Densidade de amostragem no mapeamento geotécnico	23
Tabela 2 – Apresentação das penetrações	34
Tabela 3 – Estado de compacidade e de consistência	35
Tabela 4 – Parâmetros para interpolação do estado de compacidade e de consistência	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EESC/USP	Escola de engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
GEOPALMAS	Sistema de Informações Geográficas de Palmas
GNU	<i>General Public License</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IAEG	<i>International Association of Engineering Geology</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
IG/SP	Instituto Geológico de São Paulo
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
MCA	Macrozona de Conservação Ambiental
MOCond	Macrozona de Ordenamento Condicionado
MOCont	Macrozona de Ordenamento Controlado
MOR	Macrozona de Ordenamento Rural
N.A.	Nível d'água
NBR	Norma brasileira
N_{SPT}	Índice de resistência à penetração
OSGeo	<i>Open Source Geospatial Foundation</i>
PUCE	<i>Pattern, Unity, Component, Evaluation</i>
SGBD	Sistemas de gerenciamento de bancos de dados
SIG	Sistema de informação geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
SPT-T	<i>Standard Penetration Test with Torque Measurement</i>
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Unesp	Universidade Estadual de São Paulo
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
Zermos	Zonas Expostas ao Movimento dos Solos

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Alcance
C	Argilas e siltes argilosos
C	Patamar
C_0	Efeito pepita
R	Resolução espacial
$\bar{r}$	Erro médio cometido na estimativa
S	Areias e siltes arenosos
S^2	Variância (σ)
$\bar{x}$	Média aritmética
$\gamma(h)$	Função do semivariograma
σ	Desvio padrão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 PROBLEMA DE PESQUISA	18
3 JUSTIFICATIVA	19
4 OBJETIVOS	19
4.1 Objetivo Geral	19
4.2 Objetivos Específicos.....	19
5 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
5.1 Cartografia geotécnica	21
5.1.1 Pressupostos básicos para um mapeamento geotécnico eficiente	22
5.1.2 Metodologias de mapeamento geotécnico.....	22
5.1.3 Escolha da escala em cartas geotécnicas	24
5.1.4 Resolução espacial.....	24
5.1.5 Trabalhos de Cartografia Geotécnica	25
5.2 Investigação do subsolo – <i>Standard Penetration Test</i> (SPT).....	31
5.2.1 Aspectos gerais e realização do Ensaio	32
5.2.2 Apresentação das penetrações do amostrador e critérios para paralização do ensaio	33
5.2.3 Compacidade e consistência dos solos	35
5.3 Banco de dados e SIG.....	36
5.3.1 Banco de dados.....	36
5.3.2 Sistema de informação geográfica (SIG).....	37
5.3.3 Banco de dados geológico-geotécnico	37
5.3.4 Ferramentas de geoprocessamento	39
5.4 Geoestatística	39
5.4.1 Metodologias de interpolação para dados geotécnicos	41
5.4.2 Krigagem	46
5.4.3 Semivariograma.....	47
6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	52
6.1 Análise da área de estudo.....	52
6.1.1 Caracterização geológica-geográfica de Palmas	52
6.1.2 Delimitação da área de estudo	54
6.2 Sistematização dos dados	56
6.2.1 Análise dos dados do laudo de sondagem	57

6.2.2 Estruturação dos dados com <i>EXCEL</i>	58
6.2.3 Análise da profundidade do impenetrável à percussão	59
6.2.4 Análise da profundidade do nível d'água	59
6.2.5 Análise do índice de resistência à penetração	59
6.2.6 Análise do estado de compactidade e consistência dos solos.....	60
6.3 Espacialização dos dados	62
6.3.1 Georreferenciamento dos dados	62
6.3.2 Desenvolvimento dos bancos de dados geológico-geotécnicos	62
6.3.3 Aplicação de geoestatística.....	65
6.3.4 Elaboração do mapa temático da localização dos pontos de sondagem estudados	68
6.3.5 Definição da escala de trabalho das cartas geotécnicas.....	69
6.3.6 Análise qualitativa dos dados utilizados nas cartas da profundidade do nível d'água	73
6.3.7 Criação dos <i>Rasters</i> e definição de legendas para as cartas geotécnicas.....	76
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
7.1 Carta da profundidade do impenetrável	80
7.2 Cartas da profundidade do nível d'água para os períodos seco e úmido.....	81
7.3 Cartas do estado de compactidade e consistência do solo	84
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94
REFERÊNCIAS	97
ANEXO A.....	105
APÊNDICE A	106

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Soares (2011), os municípios brasileiros não contam com muitas experiências com o uso específico de bancos de dados geotécnicos como instrumento de gestão urbana. Há ainda poucas informações sobre o solo do estado do Tocantins obtidas através de trabalhos de cartografia geotécnica (GARCIA, 2017). A autora destaca os estudos geotécnicos realizados no Tocantins, como o de Santos (2000), Martins (2014) e Castro et al. (2016). Destaca-se a execução posterior dos trabalhos de Garcia (2017) e Castro (2018). Sendo assim, fica evidente a necessidade da realização de mais estudos geotécnicos no Tocantins, bem como em sua capital, Palmas.

Mesmo havendo disponibilidade de dados geotécnicos, é comum que suas informações estejam desorganizadas, estando poucas vezes sistematizadas em banco de dados. Isso pode impossibilitar a elaboração de cartas geotécnicas, uma ferramenta que integra as características geotécnicas do terreno e suas possíveis interações com as ações humanas relacionadas ao uso e ocupação do solo. Isso a torna uma importante ferramenta de planejamento do uso do solo nos municípios. Segundo o IPT (2015), uma carta geotécnica municipal tem como objetivo orientar os trabalhos de planejamento e ordenamento territorial, podendo ser utilizada, por exemplo, na formulação ou atualização do plano diretor de um município.

Sabendo que os solos têm características heterogêneas, torna-se necessária a realização de estudos geotécnicos para obras de engenharia. A NBR 8036 (1983) estabeleceu que para obtenção de dados geotécnicos necessários no dimensionamento de elementos estruturais de fundação no Brasil, fossem realizadas sondagens de simples reconhecimento dos solos. Com isso, as empresas que trabalham no ramo da geotecnia no município de Palmas possuem uma grande quantidade de dados geotécnicos que podem ser mapeados e, com isso, contribuírem para o planejamento da urbanização da cidade.

Os dados geotécnicos provenientes de laudos de sondagem podem ser utilizados para realização de cartografia geotécnica em uma determinada região, desde que inicialmente seja feito um banco de dados para gerenciá-los. Tendo o banco de dados, é necessária a realização de estimativas de suas características nos pontos não estudados. Essa estimativa pode ser feita através do uso de geoestatística em conjunto com uma metodologia de interpolação, como por exemplo, a krigagem e o inverso ponderado da distância, que são utilizadas de forma recorrente para obtenção de valores aproximados, em trabalhos de cartografia geotécnica.

Dentre os ensaios de reconhecimento do solo, o SPT é o mais popular, rotineiro e econômico em praticamente todo o mundo (SCHNAID e ODEBRECHT, 2012). Sendo assim, o presente trabalho usou como base laudos de sondagem para estruturação e implementação de um banco de dados geológico-geotécnico para área delimitada inserida na região sudoeste do plano diretor de Palmas, que foi utilizado como ferramenta de auxílio para a elaboração da carta do impenetrável ao SPT, carta do nível d'água para os períodos seco e úmido, e cartas do estado de compactidade e consistência do solo para as profundidades de 1 a 12 metros. Tais cartas foram elaboradas em ambiente SIG por meio de análises geoestatísticas com uso do interpolador krigagem ordinária.

Esse trabalho visa gerar dados que contribuam para o desenvolvimento do conhecimento dos parâmetros geológico-geotécnicos da área de estudo, de modo a contribuir para o planejamento de novos empreendimentos dessa região, a qual é considerada uma área de interesse específico para a cidade de Palmas - TO.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

A NBR 8036 (1983) exige uma quantidade mínima de sondagens a serem realizadas em cada obra a depender da área projetada da mesma para auxílio no dimensionamento de fundações. Dessa forma, com o passar dos anos, observa-se que foram realizados uma grande quantidade de ensaios do tipo SPT em Palmas, especialmente na região Sudoeste da cidade, conforme exigência normativa.

Com o ensaio SPT (*Standard Penetration Test*), é possível conhecer a determinação dos tipos de solo por camada, os índices de resistência à penetração (N_{SPT}) a cada metro, além da posição do nível d'água (N.A.) (NBR 6484, 2001). O ensaio de sondagem permite o conhecimento das características do solo em um ponto específico. Entretanto, um conjunto de ensaios isolados não fornece um mapeamento geotécnico da área, em virtude dos vazios não ensaiados.

Dessa forma, cria-se o seguinte questionamento: É possível elaborar um documento que apresente parâmetros geotécnicos de uma determinada área através do tratamento de dados pontuais extraídos de laudos de sondagem?

3 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho utilizou de laudos de sondagens do tipo SPT realizados no município de Palmas que apresentam dados pontuais do solo para investigação geotécnica. Nesse sentido, foi feito mapeamento desses dados com uso da geoestatística, visando obter estimativas das características dos pontos desconhecidos na área estudada. Por conta da vasta utilização da krigagem em trabalhos voltados à cartografia geotécnica e sua comprovada eficácia no tratamento geoestatístico, o trabalho em questão utilizou esse interpolador. O *software EXCEL* foi utilizado para definir uma estrutura metodológica e fazer o gerenciamento desses dados, de tal forma que para elaboração da carta do impenetrável ao SPT, carta do nível d'água para os períodos seco e úmido, e cartas do estado de compacidade e consistência do solo para as profundidades de 1 a 12 metros, foi utilizado o *software* de geoprocessamento *ArcGis*, uma ferramenta paga que permite que estudantes obtenham licença anual gratuita.

Sendo assim, os resultados da espacialização dos dados pontuais provenientes do ensaio SPT podem auxiliar na investigação do perfil geológico-geotécnico da área estudada e no planejamento de futuras construções quanto ao tipo de fundação. No âmbito da análise preliminar de investimentos, os resultados desse estudo podem dar suporte na escolha de um empreendimento futuro, baseado em critérios técnicos de engenharia geotécnica.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Elaborar cartas que auxiliem na análise do perfil geológico-geotécnico de área delimitada inserida na região sudoeste do plano diretor de Palmas – TO.

4.2 Objetivos Específicos

- Criar um banco de dados geológico-geotécnico, a partir de laudos de sondagem SPT, para utilização em ambiente SIG para área delimitada inserida na região sudoeste do plano diretor de Palmas - TO;
- Elaborar carta da profundidade do impenetrável ao SPT;
- Elaborar cartas da profundidade do nível d'água para os períodos seco e úmido;

- Elaborar cartas do estado de compacidade e consistência do solo para as profundidades de 1 a 12 metros;

5 REVISÃO DE LITERATURA

Na revisão de literatura, foram abordados tópicos obtidos através de trabalhos prévios que embasaram o apresentado nesse documento. Sendo que para isso, foram descritos conceitos de cartografia geotécnica, aspectos técnicos do ensaio SPT, banco de dados geológico-geotécnicos para uso em ambiente SIG, e espacialização de dados geotécnicos através de geoestatística.

5.1 Cartografia geotécnica

Franco et al. (2010) expressa que com a evolução dos sistemas de gerenciamento de banco de dados, tornou-se possível que a “ligação da base cartográfica digital ao banco de dados descritivo, surgindo assim os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs)”. Com o uso das técnicas da cartografia geotécnica é possível elaborar cartas que apresentem visualmente diferentes temas geotécnicos, permitido ao leitor uma rápida visualização dos aspectos de cada área da geotecnia apresentados.

Os termos mapa e carta são comumente utilizados como sinônimos, entretanto Zuquette e Gandolfi (2004) explicam que o mapa apenas registra um aspecto ambiental sem interpretação, enquanto a carta representa as interpretações e associações dos dados apresentados pelo mapa. Dessa forma, Zuquette e Gandolfi (1992) afirma que o mapeamento geotécnico

[...] é constituído de um conjunto de estudos que deve retratar o meio físico de um ponto de vista pragmático de forma que permita, a diferentes categorias de usuários, obter não só informações básicas para orientação da escolha das áreas mais adequadas aos seus empreendimentos como também os critérios a serem utilizados nas investigações de detalhe que se fizerem necessárias.

De acordo com IPT (2015) a carta geotécnica é uma ferramenta

[...] de planejamento surgida há mais de um século em países da Europa, integrando dados e informações básicas sobre as características geotécnicas dos terrenos em uma determinada área e suas possíveis interações com as intervenções humanas relacionadas ao processo de uso e ocupação do solo.

De acordo com Zuquette e Gandolfi (1992), o conhecimento do meio físico (rochas, materiais inconsolidados, água, relevo, condições climáticas e suas inter-relações) por meio de mapeamento geotécnico é necessário para o planejamento adequado de uma região. Esse

conhecimento pode ser obtido por meio de um processo de mapeamento que analise o meio físico como um conjunto “e avalie o comportamento de seus componentes em termos de geotécnica e suas características de interesse à implementação das formas de ocupação”. É importante salientar que o mapeamento geotécnico não substitui a necessidade de se realizar investigações geotécnicas locais, como, por exemplo, o ensaio de sondagem.

5.1.1 Pressupostos básicos para um mapeamento geotécnico eficiente

Zuquette e Gandolfi (1992) apresenta uma série de pressupostos básicos que um mapeamento geotécnico precisa para que seja eficiente:

- O nível de heterogeneidade aceitável, os atributos e a classificação desses, variam em função da escala;
- É necessário ordenar a obtenção dos atributos quantitativos e qualitativos;
- É necessário homogeneizar as informações para não ocorrerem excessos ou deficiências localizadas;
- Deve-se definir como, quando e onde realizar as amostragens;
- É preciso que exista um documento básico para posterior elaboração de mapeamentos específicos;
- Deve-se definir as atividades a serem desenvolvidas na fase preliminar, de escritório e campo e fase conclusiva do mapeamento geotécnico;
- E, deve-se estabelecer o nível de generalização das informações.

Segundo Castro (2018), o termo atributo se refere ao “aspecto essencial escolhido para a execução de um mapeamento”. Nesse trabalho, dentre os atributos escolhidos para o desenvolvimento da cartografia geotécnica estão: a profundidade do solo impenetrável, a profundidade do nível d’água no ensaio SPT, o índice de resistência à penetração, bem como a descrição das camadas do solo.

5.1.2 Metodologias de mapeamento geotécnico

Para se produzir cartas geotécnicas, é preciso seguir metodologias específicas. Sendo que no Brasil, existem seis metodologias de mapeamento geotécnico que são utilizadas em muitos dos trabalhos brasileiros. Zuquette e Gandolfi (2004) dizem que esses procedimentos foram criados pelo:

- Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ);
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT);
- Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP);
- Grupo de Geotecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS);
- Instituto Geológico de São Paulo (IG/SP) e
- Universidade Estadual de São Paulo (Unesp).

Além das metodologias brasileiras, existem métodos internacionais utilizadas em trabalhos brasileiros. Segundo Carvalho (2014), dentre as diversas metodologias internacionais existentes, as mais utilizadas em trabalhos brasileiros são: IAEG, metodologia Francesa, metodologia Zermos (Zonas Expostas ao Movimento dos Solos), metodologia PUCE (Pattern, Unity, Component, Evaluation) e a metodologia Mathewson & Font.

O método da EESC/USP traz uma recomendação para densidade de amostragem visando apurar os atributos escolhidos de acordo com a escala adotada, conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Densidade de amostragem no mapeamento geotécnico

Finalidade do mapeamento geotécnico	Escala	Atributos					
		Qualitativos				Quantitativos	
		Metamórficas e Ígneas		Sedimentares		Geral	
		Observações/ km ²	Distância entre os pontos observados (m)	Observações/ km ²	Distância entre os pontos observados (m)	Observações/ km ²	Distância entre os pontos observados (m)
Básico	1:250.000	1/10	3162	1/10	3162	1/10	3162
	1:100.000	4/10	1581	3/10	1826	2/10	2236
	1:50.000	6/5	913	1/1	1000	3/10	1826
	1:25.000	3/1	577	2/1	707	1/1*	1000
Detalhe	1:25.000	5/1	447	4/1	500	4/1*	500
	1:10.000	15/1	258	15/1	258	10/1	316
	1:5.000	25/1	200	20/1	224	15/1	258
	1:2.000	40/1	158	35/1	169	25/1	200

* Valores alterados conforme contato de Thiesen realizado com Prof. Zuquette em 29/4/2016

Fonte: Zuquette e Gandolfi (2004) apud Thiesen (2016).

5.1.3 Escolha da escala em cartas geotécnicas

A escolha da escala em um trabalho de cartografia geotécnica não é feita de maneira aleatória. Segundo Borges et al. (2015), essa escolha é feita considerando a disposição de dados, a seleção dos atributos, sua heterogeneidade e sua classificação. Castro (2018) diz que “a escala deve representar satisfatoriamente a distribuição com a qual os dados adquiridos estão dispersos”. O autor complementa que a estatística é uma importante ferramenta para a fase de avaliação da melhor escala de trabalho, uma vez que é necessário analisar diversos aspectos dos atributos selecionados, como, por exemplo: número de sondagens, valores da média, desvio padrão e coeficiente de variação do atributo, área investigada em m² e escala de trabalho. Segundo Zuquette e Gandolfi (2004), a escala escolhida no trabalho de cartografia geotécnica pode variar entre 1:200.000 a 1:500.000 de acordo com o grau de detalhamento desejado.

5.1.4 Resolução espacial

A resolução espacial é um importante conceito quando se trabalha com a espacialização de dados. Sendo que, no domínio digital, a resolução espacial da base de dados aparenta ser uma dimensão mais relevante que a escala, de forma a ser um dos elementos de controle para a generalização, assim como a escala é no domínio analógico (INPE, 2001). O instituto também destaca que a escala também se torna um elemento de controle quando há preocupação com a visualização dos dados.

Dessa forma, a resolução espacial consiste na abrangência da área de estudo dividida pelo número de observações dispostas, conforme equação 1 (TOBLER, 1979 apud THIESEN 2016).

$$R = \sqrt[2]{\frac{\text{Área}}{\text{Número de observações}}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde R corresponde à resolução espacial.

Sendo que, uma alta resolução espacial se relaciona a um maior nível de detalhes dos elementos, ou seja, um maior número de observações.

5.1.5 Trabalhos de Cartografia Geotécnica

Garcia (2017) menciona importantes trabalhos de cartografia geotécnica que foram previamente desenvolvidos em Palmas por diferentes autores: Santos (2000), Martins (2014) e Castro et al. (2016). Posteriormente, foram desenvolvidos os trabalhos de Garcia (2017) e Castro (2018).

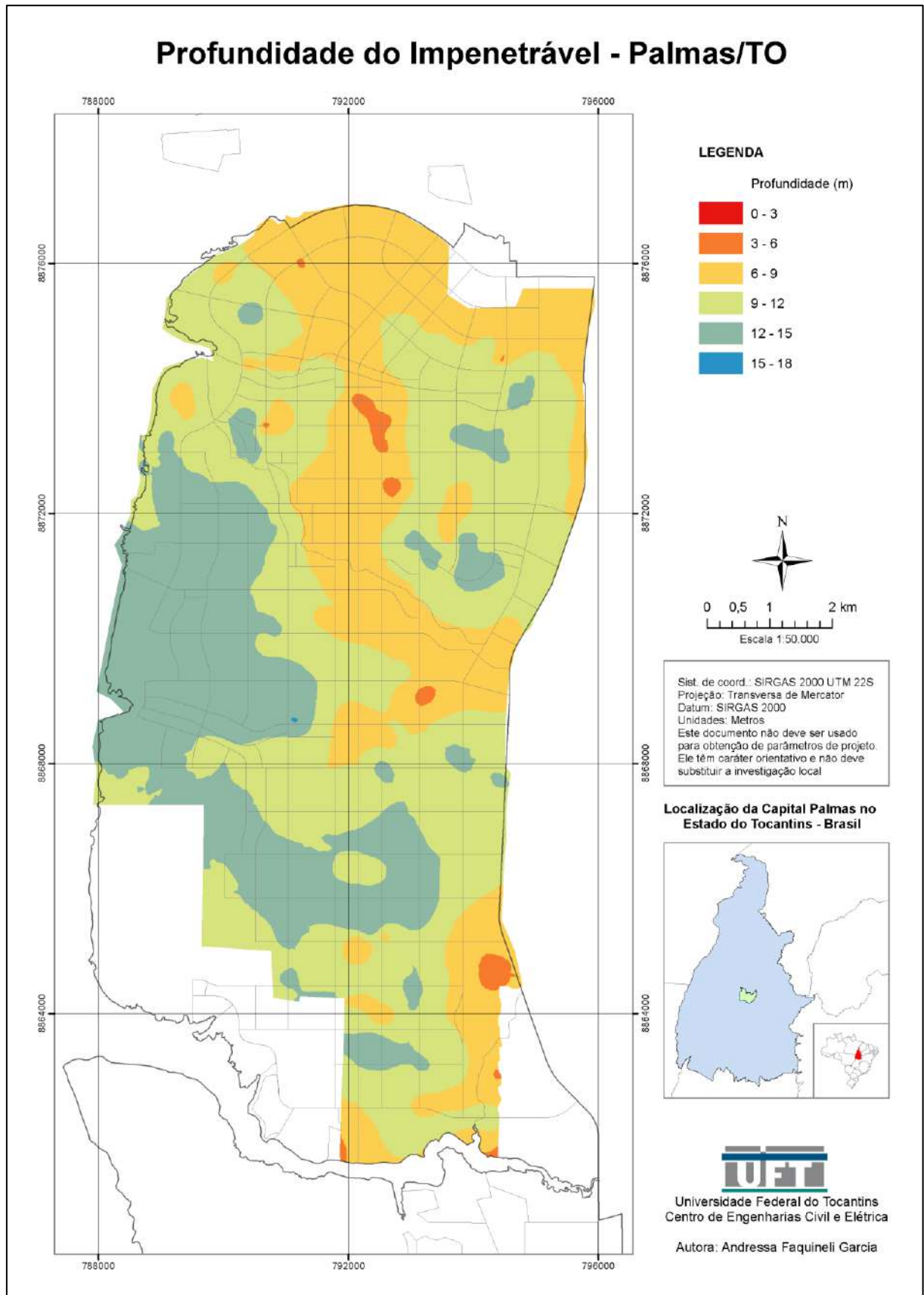
Santos (2000) elaborou em seu trabalho mapa da cobertura e uso da terra em 1998 e cartas da: declividade, espessura, escavabilidade, potencial de erosão e qualidade de materiais inconsolidados, condições geotécnicas e áreas potenciais para disposição de resíduos. Através do uso de boletins de sondagem e carta das condições geotécnicas de Santos (2000), Martins (2014) fez em seu trabalho uma caracterização das principais zonas geotécnicas do plano diretor de Palmas, apresentando soluções de fundações para edificações típicas da capital do estado do Tocantins.

Castro et al. (2016), através do trabalho intitulado “Perfis geotécnicos da cidade de Palmas - TO por meio de sondagens SPT e ensaios geofísicos” traçaram perfis geotécnicos em pontos de Palmas por meio da combinação entre sondagens SPT e ensaios geofísicos de eletrorresistividade (figura 3), relacionando a resistividade elétrica com as características geotécnicas do solo da cidade. Já Garcia (2017) elaborou em seu trabalho cartas da profundidade (figura 1) e da cota do impenetrável, bem como da profundidade (figura 2) e cota do nível d’água no plano diretor da cidade de Palmas através de tratamento geoestatístico dos dados extraídos de laudos de sondagem SPT.

Castro (2018) realizou investigação geotécnica no município de Palmas com uso de resistividade elétrica, identificando os principais tipos de solo encontrados na cidade e os relacionando com intervalos característicos de resistividade elétrica e paralelamente elaborando modelos geotécnicos através de dados de ensaios de sondagem (figura 4).

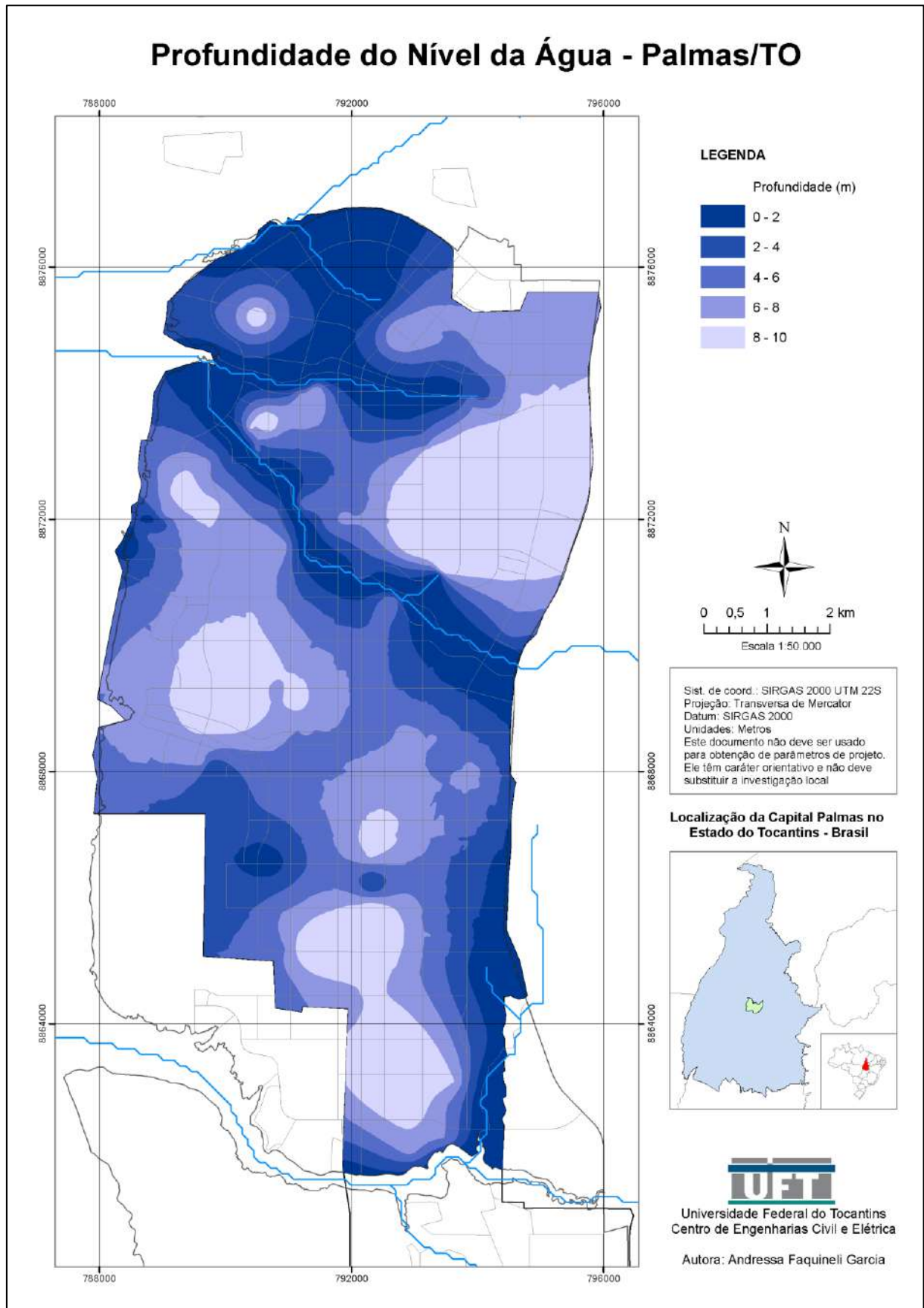
As figuras abaixo representam alguns dos principais resultados obtidos através dos trabalhos de cartografia geotécnica realizados no estado do Tocantins.

Figura 1 – Carta de profundidade do impenetrável em Palmas/TO



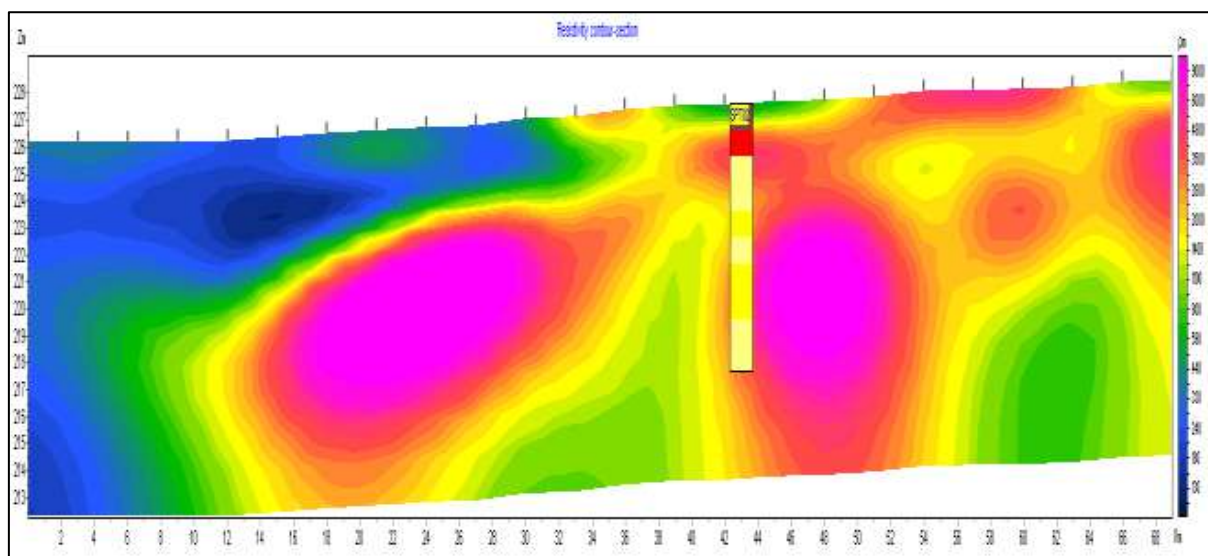
Fonte: Garcia (2017).

Figura 2 – Carta da profundidade do nível da água em Palmas/TO



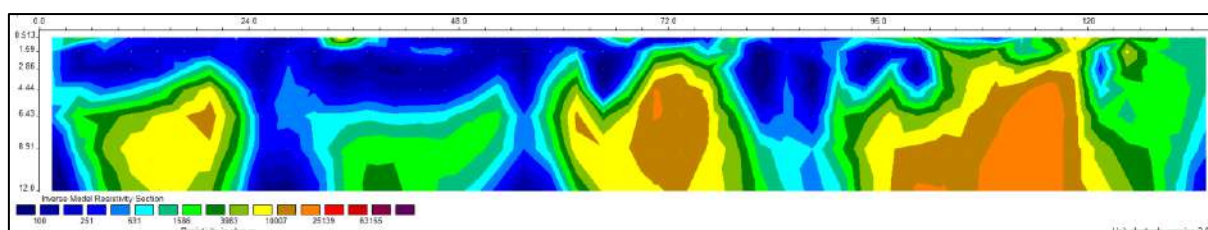
Fonte: Garcia (2017).

Figura 3 – Perfil eletrorresistivo do espaço Cultural de Palmas/TO



Fonte: Castro et al. (2016).

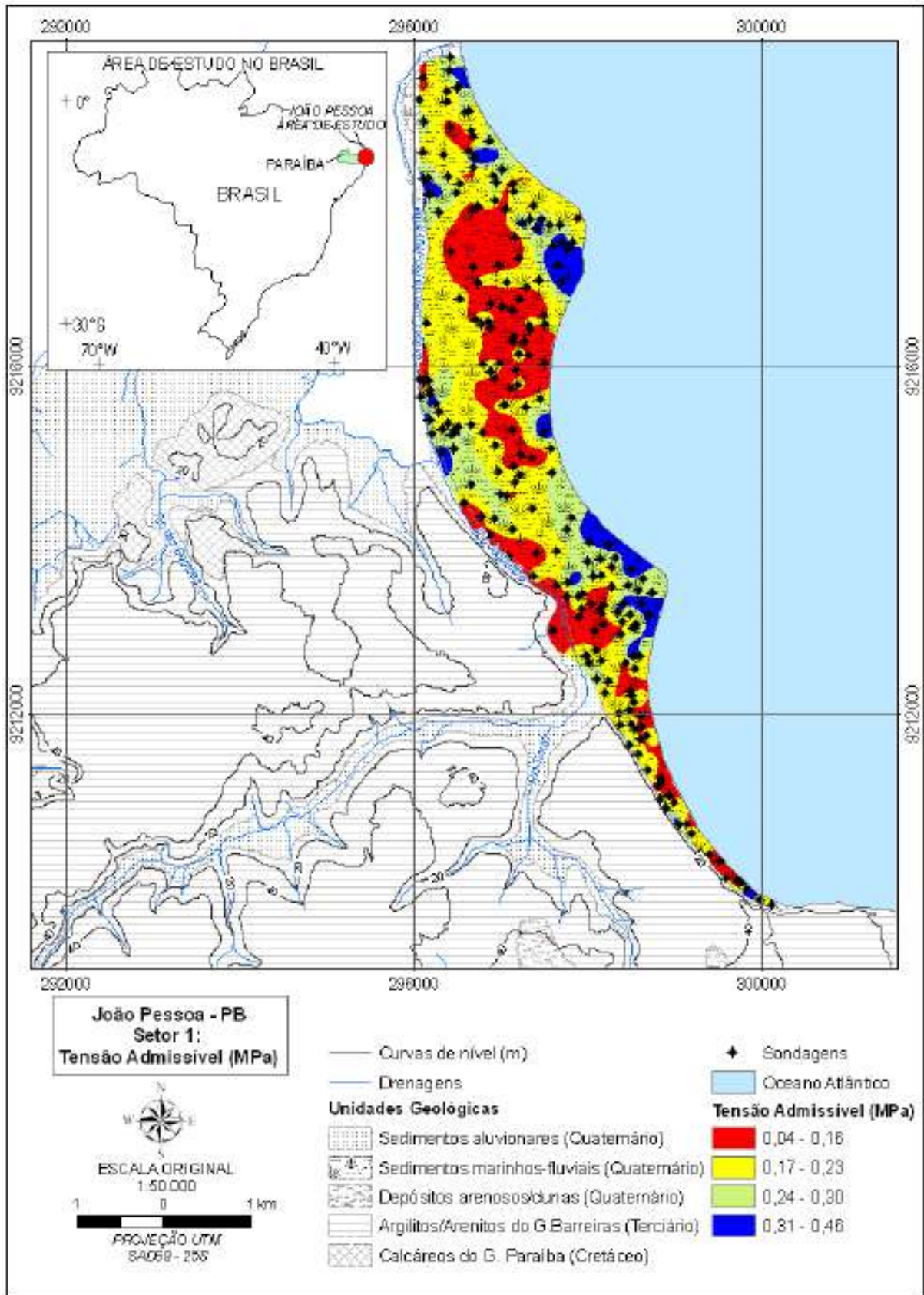
Figura 4 – Seção de resistividade elétrica do Espaço Cultural de Palmas/TO no início do período chuvoso, parte Sul



Fonte: Castro (2018).

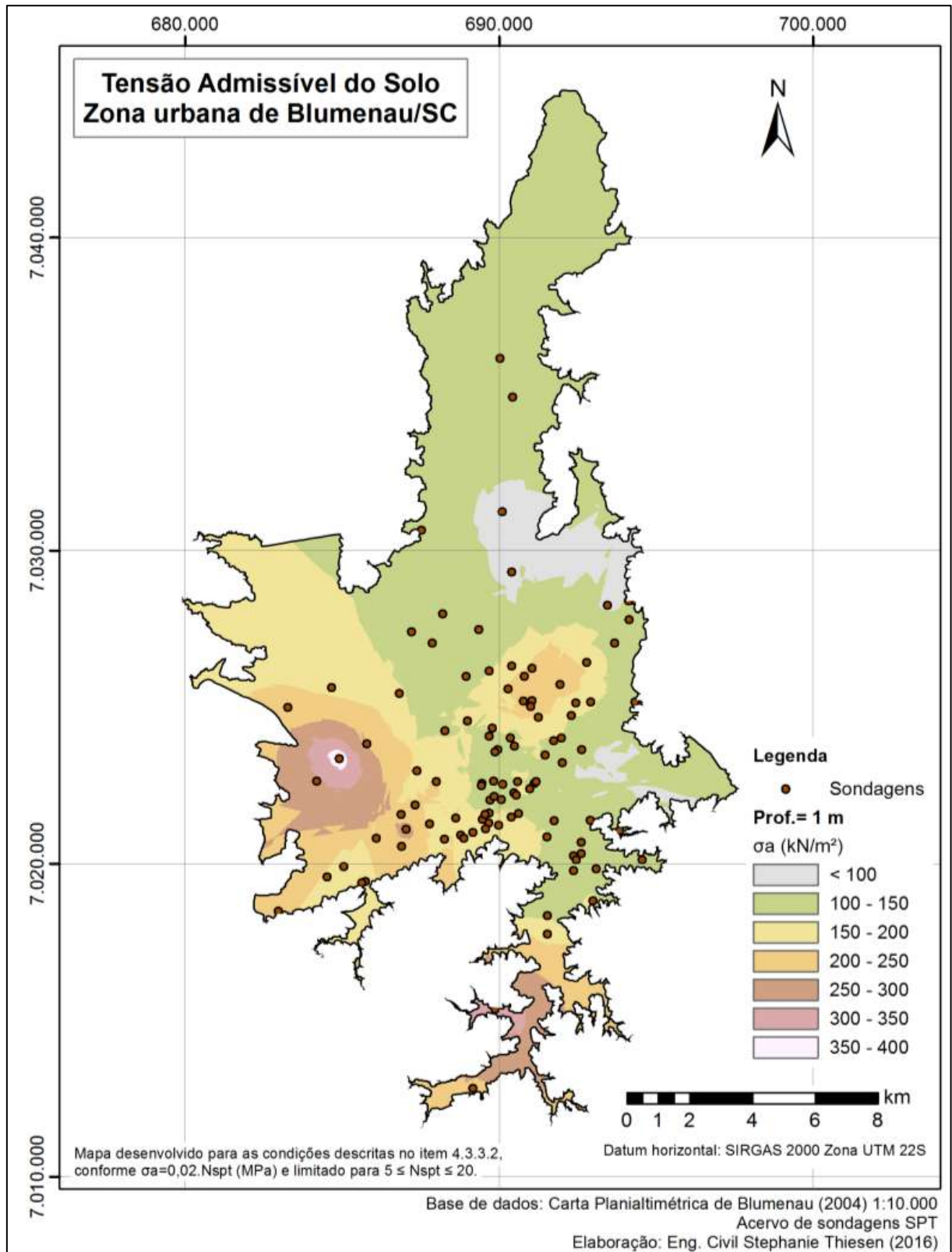
Em outras regiões do país, trabalhos importantes de cartografia geotécnica com utilização de dados obtidos através de ensaio de sondagem SPT foram desenvolvidos em maior escala. Dentre os estudos mais recentes podemos citar o trabalho de Silva (2008), que fez um mapeamento do N_{SPT} e do torque máximo do SPT-T em Londrina/PR. Já Alves (2009) realizou um mapeamento dos solos com diferentes adequabilidades à escavação no plano piloto de Brasília/DF, Soares (2011) fez uma análise espacial do N_{SPT} (figura 5) e do lençol freático em João Pessoa/PB e Thiesen (2016) fez um estudo da profundidade do lençol freático, impenetrável ao SPT e tensão admissível para fundações rasas (figura 6) para zona urbana de Blumenau/SC. As figuras abaixo representam alguns dos resultados de trabalhos de cartografia geotécnica realizados no Brasil mais atuais.

Figura 5 – Mapa da tensão admissível em MPa no setor 1 em João Pessoa/PB



Fonte: Soares (2011).

Figura 6 – Mapa da tensão admissível para fundação superficial da zona urbana de Blumenau/SC



Fonte: Thiesen (2016).

Esses estudos possibilitam o planejamento em diferentes áreas, evidenciando a importância de se desenvolver mais estudos na cidade de Palmas, que por ser relativamente nova possui poucos estudos acerca de seu solo.

5.2 Investigação do subsolo – *Standard Penetration Test* (SPT)

Segundo Hachich et al. (1998), as fundações podem ser divididas entre fundações diretas (superficiais) e indiretas (profundas). Sendo que estão contidas no primeiro grupo de fundações mencionado: bloco, sapata, viga de fundação, grelha, sapata associada e radier. As fundações profundas são divididas em estaca, tubulão e caixão. Ainda há a fundação mista, que associa as fundações superficiais e profundas. A NBR 6122 (2019) evidencia o caráter indispensável que a investigação geotécnica tem para o reconhecimento do subsolo para fins de projeto e execução de fundações.

No desenvolvimento de um projeto de fundações é necessário realizar estudos sobre a topografia do local, dados geológico-geotécnicos, dados sobre construções vizinhas e dados da estrutura a construir (VELLOSO E LOPES, 2010). Para obtenção de dados geotécnicos necessários no dimensionamento de elementos estruturais de fundação no Brasil, é necessária realização de sondagens de simples reconhecimento dos solos, uma vez que a NBR 8036 (1983) fixa as condições exigíveis na programação de sondagem, de tal forma que a quantidade de furos é determinada através da área de projeção do edifício a ser construído posteriormente.

A NBR 8036 (1983) estabelece que para uma área de projeção em planta de uma construção de até 1.200,00 m², deve ser realizada, pelo menos, uma sondagem a cada 200,00 m². Para uma área de projeção em planta de uma construção entre 1.200,00 m² e 2.400,00 m², deve ser realizada, pelo menos, uma sondagem a cada 400,00 m² que excederem os 1.200,00 m². Para uma área de projeção em planta de uma construção superior à 2.400,00 m², a quantidade de sondagens deve ser definida através de plano particular da construção. A norma também define que para uma área de projeção em planta de uma construção de até 200,00 m², devem ser realizadas, pelo menos, duas sondagens, e que para uma área entre 200,00 m² e 400,00 m² devem ser realizadas, pelo menos, três sondagens.

5.2.1 Aspectos gerais e realização do Ensaio

A sondagem de simples reconhecimento dos solos realizada através do SPT (*Standard Penetration Test*) é uma aliada da construção civil quando falamos de uma cidade em crescimento como Palmas. Através do desenvolvimento econômico de uma cidade, cria-se uma demanda de novas construções de uso civil, as quais necessitam de uma investigação geotécnica para sua implantação. Dessa forma, o SPT se torna um ensaio imprescindível, uma vez que fornece as características do solo necessárias para o dimensionamento de fundações. Os dados obtidos através dele são a determinação dos tipos de solo por camada, os índices de resistência à penetração (N_{SPT}) a cada metro, além da posição do nível d'água (N.A.) (NBR 6484, 2020).

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012), o ensaio SPT é o método para investigação geotécnica mais popular, rotineiro e econômico em praticamente todo o mundo. Devido à simplicidade do equipamento, baixo custo e possibilidade de correlação dos resultados obtidos no ensaio em projeto de fundações diretas e profundas, o SPT é sistematicamente realizado no Brasil, seguindo os procedimentos apresentados na NBR 6484 (2020), a qual especifica o método de execução de sondagens de simples reconhecimento de solos através do sistema de sondagem manual e mecanizado.

Na realização do ensaio manual de SPT, o índice de resistência à penetração (N_{SPT}) é determinado através da contagem do número de golpes correspondente à cravação de 30 cm do amostrador padrão, após a cravação inicial de 15 cm. Sendo que, previamente à execução do ensaio em si, deve-se fazer a marcação do furo, conforme orientações da NBR 8036 (1983).

O primeiro metro da sondagem deve ser feito com uso do trado-concha ou cavadeira manual, com posterior instalação do tubo de revestimento com sapata cortante até a mesma profundidade. Posterior ao primeiro metro deve ser utilizado o trado helicoidal para perfuração, intercalada a ensaio e amostragem, até atingir o N.A. Deve-se realizar a lavagem com uso do trépano/peça de lavagem (método de perfuração por circulação de água) quando for observado que com o uso trado helicoidal se atinja o nível d'água ou o avanço da perfuração seja menor do que 50 milímetros após 10 minutos de operação. Nesse caso, a remoção do material escavado é feita pela circulação de água com uso de bomba d'água motorizada. (NBR 6484, 2020).

Em caso de perfurações com parede do furo instáveis torna-se obrigatório, conforme prescrito na NBR 6484 (2020), o uso de tubo de revestimento. Em casos especiais, onde houver problemas para descer e/ou remover o tubo de revestimento, ele pode ser substituído por lamas de estabilização. Isso se limita aos casos onde não foram previstos ensaios de infiltração na sondagem. Através do exame tátil-visual, são anotadas as profundidades das mudanças de camadas e coloração de materiais trazidos à boca do furo pelo trado helicoidal ou pela água de circulação. Além disso, é coletado solo do primeiro metro do ensaio realizado pelo trado-concha para exame posterior. Sendo que para os metros subsequentes, são colhidas amostras dos solos com uso do amostrador-padrão, a cada metro. Durante toda a realização do ensaio deve ser observado o nível d'água. Caso ele seja atravessado, a perfuração é interrompida e é feita uma observação de sua elevação.

5.2.2 Apresentação das penetrações do amostrador e critérios para paralização do ensaio

Para determinação do índice de resistência à penetração N_{SPT} , é anotada a quantidade de golpes necessários para cravar o amostrador-padrão em três segmentos de 15 cm, totalizando 45 cm. A cravação deve ser interrompida antes dos 45 cm de penetração nas seguintes situações:

- Se o número de golpes for maior do que 30 em qualquer um dos três segmentos de 15 cm; e
- Se com a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo não for observado avanço do amostrador-padrão.

O valor de N é igual à soma do número de golpes necessários para penetração dos dois últimos segmentos de 15 cm.

Segundo a NBR 6484 (2020), o critério de paralisação deve ser definido pela contratante, de acordo com as necessidades específicas de projeto. Na ausência dessa definição por parte do contratante, as sondagens devem avançar até que seja atingido um dos seguintes critérios de paralização:

- Indicação de N_{SPT} iguais ou superiores a 25 golpes em 10 metros consecutivos;
- Indicação de N_{SPT} iguais ou superiores a 30 golpes em 8 metros consecutivos;
- Indicação de N_{SPT} iguais ou superiores a 35 golpes em 6 metros consecutivos; ou

- Quando no ensaio de avanço da perfuração por circulação de água forem obtidos avanços inferiores à 50 mm em cada período de 10 min (o ensaio deve ter duração de 30 min).

A NBR 6484 expõe exemplos para orientar as apresentações das penetrações do amostrador, conforme a tabela 2.

Tabela 2 – Apresentação das penetrações		
Penetração	Registro dos golpes	Exemplo
Penetração de 45 cm Três trechos iguais a 15 cm	Golpes por trecho	3/15 – 3/15 – 4/15
Penetração diferente de 45 cm Trechos diferentes de 15 cm	Número de golpes para uma penetração imediatamente superior a 15 cm	3/7 – 4/14 – 5/15
Penetração superior a 45 cm com a aplicação do primeiro golpe do martelo	Número de golpes e respectiva penetração	1/58
Penetração <u>com haste e amostrador</u> , sem número de golpes	Sem número de golpes	PH/50
Penetração <u>com martelo, haste e amostrador</u> , sem número de golpes	Sem número de golpes	PM/70
Penetração superior a 45 cm com a aplicação de poucos golpes do martelo	Número de golpes e respectiva penetração nos respectivos intervalos	1/33 – 1/20
Penetração inferior a 45 cm, se em qualquer dos três segmentos, o número de golpes ultrapassar 30	Número de golpes para cada intervalo de penetração	32/15
Se não for observado avanço do amostrador durante a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo	Número de golpes para zero centímetros de penetração	5/0

Fonte: NBR 6484 (2020).

Salienta-se que os laudos de sondagem obtidos para realização desse trabalho são datados anteriormente ao lançamento da segunda edição da norma, em 28/10/2020. Por conta

disso, ainda não havia a padronização proposta pela NBR 6484 (2020) para apresentações das penetrações. Apesar disso, os critérios de análise do trabalho em questão foram estabelecidos através das exigências normativas mais atuais.

5.2.3 Compacidade e consistência dos solos

Devido ao objetivo deste trabalho em elaborar cartas que auxiliem na análise do perfil geológico-geotécnico dos solos, torna-se importante mencionar a tabela do anexo A da NBR 6484 (2020), que relaciona o índice de resistência à penetração com a compacidade dos solos grossos (areia e silte arenoso), bem como com a consistência dos solos finos (argila e silte argiloso). Conforme a tabela 3.

Tabela 3 – Estado de compacidade e de consistência		
Solo	Índice de resistência à penetração (N_{SPT})	Designação
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Mediamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	20 a 30	Muito rija(o)
	> 30	Dura(o)

Fonte: NBR 6484 (2020).

Por conta da ampla utilização dos resultados provenientes do ensaio SPT, podem ser encontradas em diversas bibliografias, correlações de seus dados para obtenção de parâmetros geotécnicos além dos abordados para os fins nesse trabalho. De acordo com Schnaid (2000) os resultados provenientes do ensaio SPT podem ser interpretados através de métodos indiretos, onde eles são utilizados para previsão de parâmetros construtivos do solo e os métodos diretos, onde os resultados são aplicados diretamente na previsão de capacidade de carga se uso de parâmetros intermediários.

5.3 Banco de dados e SIG

Caputo (1996) afirma que a heterogeneidade dos solos e rochas é a regra, não a exceção. Dessa forma, entende-se que previamente à execução de qualquer obra de engenharia, devem-se fazer investigações do solo do local da execução. Das (2007) aborda a necessidade do estudo das propriedades do solo pelos engenheiros civis, uma vez que esses materiais são utilizados nas construções e também suportam fundações estruturais.

A NBR 8036 (1983) determina a necessidade da realização de sondagens para elaboração de projetos geotécnicos para construção de edifícios. Devido a essa exigência, as empresas que trabalham no ramo da geotecnia em Palmas, têm disponível em seu acervo uma grande quantidade de laudos de sondagem SPT, os quais podem servir como banco de dados se estruturados da forma correta. Sendo assim, Garcia (2017) afirma que a construção e a operação de bancos de dados geológico geotécnicos são importantes ferramentas para auxílio na caracterização dos solos de uma região, sendo que as sondagens SPT apresentam um potencial grande na composição desses bancos de dados.

5.3.1 Banco de dados

Date (2004) definiu banco de dados como um sistema de armazenamento de dados baseado em computador cujo objetivo é registrar e manter informações para que se tornem disponíveis para diferentes usos. Segundo Rengers et al. (2002) *apud* Soares (2011) o campo de sistemas de banco de dados de armazenamento e recuperação de superfícies geotécnicas e informações de sondagens passam por grande crescimento devido ao aumento da velocidade de cálculo e capacidade de obtenção de dados a baixo custo. Apesar disso, Soares (2011) diz que os municípios brasileiros não contam com muitas experiências com o uso específico de bancos de dados geotécnicos como instrumento de gestão urbana. Dessa forma, o trabalho em questão visa se beneficiar de laudos de sondagem para criação de um banco de dados que possibilite a elaboração de cartas em ambiente SIG.

Segundo Soares (2011), as principais estruturas dos bancos de dados modernos são: hierárquica, relacional e em rede. De acordo com o autor, no modelo relacional os dados e os relacionamentos são representados por tabelas, tendo em cada uma delas número de colunas e nomes únicos; se diferenciando do modelo de rede e do hierárquico quando recorrem a ligação lógica, que corresponde a interseção entre as linhas (registros) e colunas (campos) das

tabelas. Por conta disso, os sistemas de gerenciamento de bancos de dados (SGBD) atualmente são estruturados à base do modelo relacional.

5.3.2 Sistema de informação geográfica (SIG)

De acordo com Barros (1998), o Sistema de informação geográfica (SIG) é formado por dados integrados e controlados por utilitários de software e hardware, sendo uma ferramenta de subsídio ao geoprocessamento. Rocha (2000) *apud* Soares (2011) define SIG como sistema capaz de adquirir, tratar, atualizar, analisar e exibir informações digitais georreferenciadas.

Segundo Santos (2016), o SIG organiza e armazena os dados (tabelas, *shapefiles*, kml, kmz, entre outros) em um banco de dados geográficos, onde os atributos descritivos são associados às feições geométricas. Portanto, quando os sistemas de gerenciamento de bancos de dados estão acoplados em sistemas de informação geográfica (SIG), as informações armazenadas apresentam um atributo específico de coordenada geográfica (dados georreferenciados), tornando-se assim um perfil adequado para implementação de um banco de dados geotécnicos (Soares, 2011). Com isso, o SIG se torna importante para trabalhos de mapeamento geotécnico, como os de caracterização geológico-geotécnica, conforme afirmaram Vieira et al. (2005).

5.3.3 Banco de dados geológico-geotécnico

Augusto Filho (2005) *apud* Soares (2011) apresentou as etapas de desenvolvimento de um relatório técnico acerca de um banco de dados geológico-geotécnico a partir de sondagens realizado em Belo Horizonte. Essas etapas serão descritas nos próximos parágrafos.

Os furos de sondagens georreferenciados em uma base cartográfica podem ser representados através do objeto geográfico primário ponto. As tabelas de atributos das sondagens podem ser estruturas as utilizando planilhas eletrônicas ou banco de dados da linha Office para serem futuramente incorporado em uma plataforma SIG, onde as sondagens podem ser geridas e analisadas.

Visando uma modelagem preliminar do banco de dados, o autor definiu dois formatos de planilhas para armazenagem inicial dos dados das sondagens a percussão. Na primeira planilha, ficam destacados o identificador (id), coordenadas geográficas (coordx e coordy),

cotas da boca, do fim do furo e dp nível d'água (cotaboca, cotafinal e cota_na), conforme figura 7. Ainda de acordo com Soares (2011), podem ser incorporados à essa planilha outros atributos de interesse, tanto numéricos, texto, data ou imagem. Essa planilha gera os objetos geográficos que representam a posição dos furos da sondagem na base cartográfica utilizada.

Na segunda planilha, são apresentados a descrição em profundidade de cada furo de sondagem. Essa planilha é interligada em ambiente de SIG a primeira planilha, através de um campo de identificação comum, no caso do trabalho apresentado pelo autor, esse campo é o “id”, conforme evidenciado na figura 8. É destacado pelo autor que os SIG's têm ferramentas estatísticas que facilitam o desenvolvimento dessas correlações.

Figura 7 – Exemplo da planilha geral para cadastro das sondagens

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	id	cod	coordx	coordy	cotaboca	cotafinal	cota_na	data					
1													
2	1	1000	453000.0	7450000.0	108.0	97.9	103.7	16/09/97					
3													
4													
5													
6													
7													

Fonte: Augusto Filho (2005) *apud* Soares (2011).

Figura 8 – Exemplo da planilha com descrição em profundidade das sondagens

	A	B	C	D	E
	id	cotas	spt	unidade	descricao
1					
2	1	107.0	3.8	Solo coluvionar.	Argila plastica c/ areia(f/m), blocos (dm) de rocha (diabasio).Cor marrom-escuro.
3	1	106.0	7.3	Solo coluvionar.	Argila plastica c/ areia(f/m), blocos (dm) de rocha (diabasio).Cor marrom-escuro.
4	1	105.0	9.0	Solo coluvionar.	Argila plastica c/ areia(f/m), blocos (dm) de rocha (diabasio).Cor marrom-escuro.
5	1	104.0	11.0	Solo residual jovem.	Areia (f/m) argilosa. Cor amarelo-variegado.
6	1	103.0	20.0	Solo residual jovem.	Areia (f/m) argilosa. Cor amarelo-variegado.
7	1	102.0	39.0	Solo residual jovem.	Areia (f/m) c/ argila. Cor amarelo-avermelhado.
8	1	101.0	50.0	Solo residual jovem.	Areia (f/m) c/ argila. Cor amarelo-avermelhado.
9	1	100.0	50.0	Solo residual jovem.	Areia (f/m) c/ argila. Cor amarelo-avermelhado.
10	1	99.0	50.0	Solo residual jovem.	Areia (f/m) c/ argila. Cor amarelo-avermelhado.
11	1	98.0	50.0	Solo residual jovem.	Areia (f/m) c/ argila. Cor amarelo-avermelhado.
12	1	97.9	50.0	Solo residual jovem.	Areia (f/m) c/ argila. Cor amarelo-avermelhado.
13					
14					
15					

Fonte: Augusto Filho (2005) *apud* Soares (2011).

Segundo Zuquette e Gandolfi (2004), é comum que haja uma falta de organização de informações geotécnica, uma vez que essas informações são escassas e poucas vezes sistematizadas em bancos de dados. Caso não haja uma estrutura metodológica definida, o

armazenamento dos dados obtidos para a pesquisa em questão se torna ineficaz. Portanto, esse trabalho fará uso do *software EXCEL* para fazer o gerenciamento desses dados.

5.3.4 Ferramentas de geoprocessamento

Há no mercado diversos programas de geoprocessamento, sendo eles gratuitos ou pagos, suprimindo necessidades específicas. Dentre os principais *softwares* de SIG disponíveis no mercado, podem ser citados o *ArcGIS*, o *QGIS* e o *SPRING*, sendo o primeiro pago e os outros dois gratuitos. O *arcGIS* é uma ferramenta produzida pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), que apesar de ser paga, possui licenças gratuitas de um ano a disponibilizadas pela empresa para estudantes, o que possibilitaria seu uso nesse trabalho. O *software QGIS*, projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), licenciado sob a *General Public License* (GNU) e o *SPRING* produzido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) também possuem viável aplicação nesse trabalho, uma vez que são ferramentas gratuitas.

5.4 Geoestatística

Uma vez que o solo possui características heterogêneas, cada ponto de sondagem apresenta um resultado diferente. Dessa forma, o uso de ferramentas da estatística descritiva é necessário para uma análise inicial do comportamento dos dados obtidos através dos laudos de sondagem SPT. A estatística descritiva é dividida em medidas de forma, medidas de localização e medidas de dispersão da amostra (STURARO, 1993 *apud* SILVA, 2008). O quadro 1 abaixo apresenta as medidas de localização e dispersão.

Quadro 1 – Medidas de localização e medidas de dispersão

Medidas de localização	Média aritmética ($\bar{x}$)	Indica a tendência apresentada dentro de uma população, conforme a equação: $\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$ Onde n é o número de eventos e x os valores da variável estudada.
	Mediana	Representa o valor central de um conjunto de dados.
Medidas de dispersão	Variância (S^2)	Visa determinar o quanto a média representa a amostra analisada, conforme a equação: $S^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{x})^2$ Onde n é o número de componentes da amostra e v_i os valores assumidos pela variável.
	Desvio padrão (σ)	Medida de dispersão obtida através da raiz quadrada da variância.

Fonte: Adaptado de Sturato (1993) *apud* Silva (2008)

Na estatística clássica, é assumido que as variáveis não dependem de sua posição no espaço. Apesar disso, as variáveis relacionadas com as características física dos solos têm condicionantes espaciais. De acordo com Castro (2018), essas variáveis têm seu comportamento mais bem descrito quando aplicadas técnicas de geoestatística em seu estudo. Portanto, a geoestatística advém da estatística clássica e apresenta características intermediárias entre as variáveis determinísticas e aleatórias. Ela é a forma prática da teoria das variáveis com condicionamento espacial (regionalizadas) (ANDRIOTTI, 2009).

Folle (2002) corrobora a afirmativa de Andriotti quando diz que a geoestatística trata as variáveis como regionalizadas. O autor diz que na geoestatística, é dada ênfase nas relações espaciais das amostras avaliadas, quantificando posteriormente os erros cometidos nas avaliações. Yamamoto e Landim (2013) afirmam que a geoestatística quantifica as incertezas presentes em uma variável em busca de caracterizá-la a partir de sua distribuição e variação espacial. A geoestatística tem tido grande aplicação em estimativas e simulações de variáveis em locais não amostrados, pois considera que os dados são espacialmente correlacionados, calculando assim estimativas dentro de um contexto regido por um fenômeno natural (LANDIM & STURARO, 2002)

5.4.1 Metodologias de interpolação para dados geotécnicos

É possível fazer uso da geoestatística atrelado a uma técnica de interpolação para gerar continuidade no espaço através do uso de pontos referenciados. Folle (2002) apresenta diferentes métodos de interpolação, tais quais: triangulação de *Delaunay*, método do vizinho mais próximo, método dos polígonos, método das curvas de isovalores, método do inverso da potência da distância (o mais utilizado é o inverso do quadrado da distância) e a krigagem.

Segundo Garcia (2017), os métodos de interpolação mais utilizados em trabalhos com uso de dados geotécnicos são o inverso ponderado da distância, do inglês *Inverse Distance Weighting* (IDW) e a krigagem, sendo que para sua escolha, torna-se necessário a análise das vantagens e desvantagens que cada um dos métodos apresenta.

O método inverso ponderado é bastante utilizado na espacialização de dados (SILVA, 2011), mas seu uso é recomendado para estimativas que buscam resultados generalistas, que tenham distribuição uniforme dos dados e uma grande densidade dos mesmos (CASTRO, 2018). Os dados utilizados nesse trabalho não possuem distribuição uniforme, uma vez que as sondagens SPT são realizadas conforme demanda e possuem uma concentração maior de dados em áreas mais densas de empreendimentos.

Landim (2000) apresentou algumas vantagens e desvantagens, bem com limitações de uso deste interpolador, conforme a quadro 2 abaixo.

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens do interpolador inverso ponderado da distância

Vantagens	Desvantagens
• Fácil de entender matematicamente. • Algoritmo bem conhecido e discutido • Disponível em muitos softwares. • Utiliza pouco tempo de computação. • É razoavelmente fiel aos valores amostrados originais; • Não estima valores dos pontos estudados maiores ou menores que os valores máximos e mínimos dos dados; • Bom para estimativas de espessura, concentração química e propriedades físicas • Muito bom para analisar variações de pequena amplitude (anomalias) entre os dados irregularmente distribuídos. • Bom estimador para propósitos gerais.	• Não estima valores de Z maiores ou menores que os valores máximos e mínimos dos dados; • Ruim para estimativas de dados estruturais, isto é, para determinar o topo ou a base de horizontes estratigráficos ou litológicos; • Muito difícil obter a localização precisa de uma determinada isolinha se os valores amostrados não contiverem este valor; • É difícil projetar a curva de altitude zero se os dados não contiverem zero ou valores negativos. • Influência de valores locais anômalos é dificilmente removida; • Dados em clusters podem influenciar as estimativas de modo bastante tendencioso. • Cria muitos artefatos, o que pode ser reduzido ou eliminado se o raio de busca for reduzido, se a tendência for removida previamente e se ocorrer mudanças no expoente utilizado, no tamanho da grade, no número de pontos utilizados e ponderação direcional.
Quando usar	Quando não usar
• Estimativas de propósito geral; • Distribuição uniforme de dados; • Boa densidade de dados; • Para destacar anomalias locais; • Para calcular volume em operações entre <i>grids</i>.	• Dados agrupados • Tendência pronunciada presente. • Dados com falhas e distribuídos de forma esparsa. • Não quiser imperfeições no modelo.

Fonte: Adaptado de Landim (2000)

Segundo Castro (2018), o uso da krigagem é recomendado para variáveis que se correlacionem, onde se pode observar distribuição irregular ou agrupamento dos dados. O autor recomenda que a krigagem não seja usada quando for observada descontinuidade do semivariograma para distâncias inferiores a menor distância entre amostras (efeito pepita). Assim como para o inverso ponderado da distância, Landim (2000) apresentou vantagens e desvantagens, bem com limitações de uso da krigagem, conforme a quadro 3 abaixo.

Quadro 3 – Vantagens e desvantagens do interpolador krigagem

Vantagens	Desvantagens
Se o semivariograma for apropriado, fornece as seguintes informações: • Parâmetros adequados de amostragem: número de amostras, distribuição e densidade; • Parâmetros adequados de busca: tamanho da área de busca, forma (circular ou elipsóide) e, se elipsóide, orientação do eixo principal; • Parâmetros adequados da grade: tamanho das células, forma e orientação; • Natureza da distribuição espacial da variável investigada: uniformidade da distribuição, importância relativa da influência espacial x casual; • Previsibilidade da variação espacial da variável avaliada. Se o semivariograma for apropriado controla a krigagem, com as seguintes vantagens: • Evita ponderação arbitrária dos pontos amostrados; • Permite a determinação das melhores estimativas sem tendenciosidade: o melhor	• O usuário pode não compreender o uso dos controles matemáticos e apesar disto resultados são sempre obtidos; • É necessário tempo para preparo do variograma e entendimento de geoestatística. • Pode não ser possível a construção de um variograma adequado devido à natureza da variação espacial da variável analisada. Isto pode ocorrer devido à magnitude da amostragem e por erros analíticos. • Requer longo tempo de computação para grupos de dados grandes ou complexos. • Necessidade de <i>software</i> capacitado.

estimador é aquele que produz a melhor precisão (menor variância); • Permite o estabelecimento de limites de confiança, indicando se os resultados são aceitáveis e se a estratégia de amostragem deve ser modificada; • Precisão, contornos suaves, artefatos indesejáveis raros a não ser nas bordas do mapa; • Interpolador exato: os valores estimados para os nós das células são exatamente iguais ao valor amostrado naquela posição; • Estima além dos limites máximo e mínimo dos valores dos pontos amostrados; • Modela tanto tendências regionais quanto anomalias locais; • Calcula variâncias dos pontos estimados (erros), que podem ser utilizadas para: quantificar um intervalo de valores ($\pm$) para os pontos estimados, definindo estimativas realistas; • Calcular intervalos de confiança para verificar a probabilidade dos valores ocorrerem dentro de um intervalo de ± 2 unidades de desvio padrão da média; variâncias mapeadas podem indicar locais para adensamento da amostragem.	
Quando usar	Quando não usar
• Estiverem presentes tanto tendências regionais quanto anomalias locais; • Anomalia local não presente em toda a área, por ex. em ambiente fluvial; • Quiser estimar com base em uma média global;	• Menos de 30 pontos amostrados: número insuficiente de pares para modelar o semivariograma; • Valores discrepantes de Z: removê-los antecipadamente; • Erro grande e inexplicado (efeito pepita

• Tiver dados irregularmente amostrados ou agrupados.	pronunciado); • Amostras de populações diversas.
---	---

Fonte: Adaptado de Landim (2000)

Dessa forma, destacando os dois principais métodos de interpolação comumente utilizados em análises envolvendo dados geotécnicos e contemplados em ambiente SIG, a escolha técnica parte da comparação de fatores, tais quais: quantidade e densidade dos pontos a serem interpolados, a capacidade de processamento do computador a ser utilizado, o nível de precisão esperado, bem como o tempo disponível (TALAMANI NETO, 2001). Nesse sentido, Krajewski e Gibbs (1996) *apud* Landim (2000) apresentam uma comparação entre os métodos de interpolação segundo os principais parâmetros de escolha. No quadro 4 está apresentado o comparativo entre a krigagem e o método do inverso da distância, onde 1 representa o melhor e 2 o pior.

Quadro 4 – Comparação entre os métodos de interpolação apresentados

Método de interpolação	Fidelidade aos dados	Suavidade das curvas	Velocidade de computação	Precisão geral
Inverso da distância	2	2	1	2
Krigagem	1	1	2	1

Fonte: Adaptado de Krajewski e Gibbs (1996) *apud* Landim (2000)

Segundo Alessi (2002), os métodos do quadro 4 apresentam uma estimativa da realidade com a presença de erros e incertezas, de tal forma que a escolha deve se basear no método que resulte em menos erros, sendo aceitável estimar uma incerteza. Essa estimativa pode ser feita através da análise dos principais fatores que influenciam o erro do modelo, sendo eles: número de amostras vizinhas, proximidade das amostras, distribuição espacial das amostras, natureza do fenômeno.

Landim (2000) afirma que a krigagem é um metodologia muito aplicada em mapeamento de solos, com utilização reconhecida como uma das melhores estimativas lineares por não ser tendenciosa. Segundo Jakob e Young (2006), a krigagem produz a melhor estimativa linear não-viciada dos dados de um atributo em um local não amostrado com a modelagem do variograma, além de ser o único interpolador a fornecer os erros associados às estimativas. Wang e Liu (2005) constataram que a krigagem fornece ótimas estimativas teóricas, com ausência de tendência e variância mínima. Além do mais, Longley et al. (2005)

afirmam que, entre os métodos comuns de interpolação espacial, a krigagem aparenta ser a mais fundamentada em boas práticas teóricas.

Sendo assim, dado a vasta utilização da krigagem em trabalhos voltados à cartografia geotécnica e sua comprovada eficácia, o trabalho em questão utilizou essa metodologia de interpolação para o tratamento geoestatístico de seus dados geotécnicos.

5.4.2 Krigagem

Daniel G. Krige desenvolveu uma teoria com uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas de mineração. Essa metodologia, por conta do nome de seu pioneiro, ficou conhecida como krigagem, a qual foi desenvolvida para solucionar problemas de mapeamentos geológicos, e foi posteriormente aplicada em mapeamento de solos, mapeamento hidrológico, mapeamento atmosférico e outros campos relacionados (THIESEN, 2016). A teoria de Krige, conhecida como krigagem, foi generalizada e desenvolvida por Georges Matheron. Ela foi definida como:

[...] um processo de estimação por médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, enquanto considerados como interdependentes por uma função denominada variograma. Como no cálculo dessa função a somatória de diferenças ao quadrado é dividida por $2 \times \text{número de pares de valores}$ o termo correto seria semi-variograma, porém é usual o emprego do termo variograma, mais sintético. (LANDIM & STURARO, 2002)

Segundo Landim (2000), na krigagem são consideradas a quantidade e posições das amostras, as distâncias entre as amostras e a zona a ser estimada e a continuidade espacial da variável estudada. Para o autor, a principal vantagem desse interpolador está relacionada à precisão adquirida através da eliminação, em média, dos erros de excesso devido a ponderação das amostras.

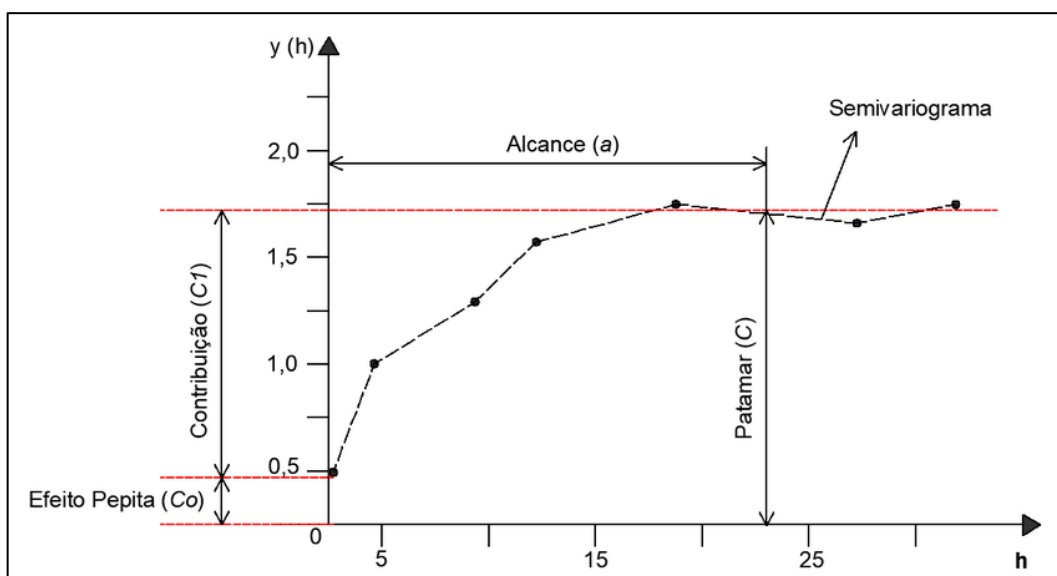
Thiesen (2016) diz que a krigagem possui mecanismo de interpolação similar ao inverso da distância ao ponto, diferindo desse pelo fato de que os pesos na krigagem são definidos através de análise espacial fundamentada no semivariograma experimental, atribuindo pesos diferentes às suas amostras.

5.4.3 Semivariograma

Salviano (1996, *apud* ALLESSI, 2011) afirma que o semivariograma, através da técnica de krigagem, analisa o grau de dependência espacial entre as amostras dentro do espaço amostral e define parâmetros necessários para estimar valores para locais não amostrados. Em conformidade com a afirmação anterior, Silva (2011) diz que os variogramas representam quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço, demonstrando com isso o grau de dependência espacial entre as amostras de um experimento e definindo parâmetros utilizados na estimativa de valores para pontos não amostrados. Dessa forma, os variogramas são ferramentas básicas para as técnicas de krigagem

Segundo Silva (2008), o semivariograma experimental é uma ferramenta que “possibilita identificar, qualificar e compreender a variação espacial de determinado fenômeno ou variável, a partir de dados amostrais aparentemente aleatórios e independentes”. A figura 9 apresenta o semivariograma e as partes compostas por ele.

Figura 9 – Semivariograma e seus componentes



Fonte: Camargo (1997) *apud* Soares (2011).

Na abcissa do semivariograma são apresentados os valores de distância e na ordenada os correspondentes semivariogramas (h). Teoricamente, o semivariograma teria seu início na origem do gráfico, mas sempre ocorre algum nível de ruído, conhecido por efeito pepita (C_0). O alcance (a) representa a distância alcançada pelos variogramas. A partir do final do alcance não há mais dependência espacial entre as amostras. Além desses, é possível observar na

figura 9 do semivariograma o patamar (C), e a contribuição (C_0). Através deste gráfico torna-se possível expressar o comportamento das variáveis regionalizadas e abrangência da zona de influência, erros de amostragem, parâmetros anisotrópicos e elementos aleatórios (GARCIA, 2017). Landim (2000) apresentou uma forma de obter o grau de aleatoriedade dos dados da amostra através da razão entre C_0/C (figura 9), onde a divisão o classifica em componente aleatória pequena ($\frac{C_0}{C} < 0,15$), significativa ($0,15 < \frac{C_0}{C} < 0,30$) ou muito significativa ($\frac{C_0}{C} > 0,30$).

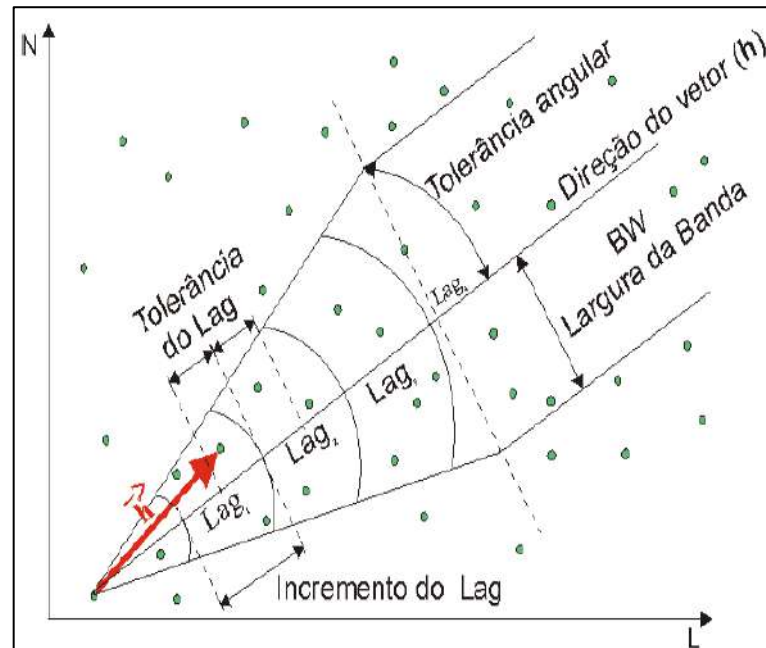
Segundo Garcia (2017), é possível estudar o nível de dependência entre duas variáveis com mesmo atributo e duas posições diferentes através da análise do semivariograma, onde $x = Z(x_i)$ e $y = Z(x_i+h)$. De forma matemática, o semivariograma pode ser definido como “a esperança matemática do quadrado da diferença entre os pontos no espaço, separados pelo vetor distância (h)” (ALVES, 2009). A função do semivariograma é definida a seguir:

$$y(h) = \frac{1}{2n} \cdot \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - z(x_i)]^2 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde $y(h)$ é o valor calculado da função variograma, h é a distância entre pares amostrais, $Z(x_i)$ e $z(x_i)$ são valores da variável estudada em dois pontos distintos, separados por uma distância preestabelecida e constante em uma direção, n é o número de pares de pontos distanciados de h .

Para o cálculo do semivariograma devem-se definir limites de tolerância para a direção e distância consideradas. Na figura 10 abaixo é possível observar pares de observações a serem incluídos nos cálculos obtidos através da adoção de uma distância pré-definida (lag) e uma direção angular estabelecida previamente, incluso suas respectivas tolerâncias angulares.

Figura 10 – Representação da atuação do semivariograma sobre o conjunto de dados.



Fonte: Landim (1998, *apud* ALVES, 2009).

Segundo Garcia (2017), os ângulos comumente utilizados na detecção de anisotropias são: 0° (leste-oeste), 45° (nordeste-sudoeste), 90° (norte-sul) e 135° (noroeste-sudeste). Sendo que o ângulo de tolerância é utilizado para análise dados à certa direção para determinação da correlação espacial quando o pesquisador conhece ou prevê tendências da amostra (DEUSTCH & JOURNAL, 1992 *apud* FONTELES, 2014).

Uma vez definido o modelo experimental do semivariograma, torna-se necessário ajustá-lo a um modelo teórico. Segundo Castro (2018), dentre os vários modelos teóricos já consagrados, os mais utilizados são: *Hole Effect*, linear, esférico, exponencial e gaussiano. Os três últimos são modelos teóricos com patamar, que são largamente utilizados em trabalhos semelhantes à esse estudo. Por conta disso, apenas serão abordados nesse trabalho os modelos esférico, exponencial e gaussiano.

Para $h > a$, o modelo esférico é definido pela Equação 3.

$$y(h) = C_0 + C \left[1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right] \quad (\text{Equação 3})$$

Para $h \geq a$, o modelo esférico é definido Equação 4.

$$y(h) = C_0 + C \quad (\text{Equação 4})$$

O modelo exponencial atinge o patamar assintoticamente, sendo seu alcance a distância na qual o valor do modelo é 95% do patamar. Conforme a Equação 5 abaixo.

$$y(h) = C_0 + C \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad (\text{Equação 5})$$

O modelo gaussiano geralmente é empregado em fenômenos contínuos, sendo apresentado pela equação abaixo.

$$y(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{a}\right)^2\right) \right] \quad (\text{Equação 6})$$

Segundo Garcia (2017), é comum que se faça a interpolação pelos três métodos para posteriormente definir qual modelo representa melhor a amostra estudada.

Segundo Druck *et al.* (2004), a krigagem engloba métodos de estimação estacionários (krigagem simples e ordinária), não estacionários (krigagem universal, funções intrínsecas de ordem k), univariados e multivariados (co-krigagem), sendo que a krigagem ordinária é frequentemente utilizada pela sua grande importância na modelagem de fenômenos naturais. Por conta de três fatores a krigagem ordinária tem o melhor estimador linear quando comparada aos diferentes métodos geoestatísticos existentes: realização das estimativas através de uma combinação linear dos dados; metodologia que procura calcular que o erro residual seja igual a zero e minimização da variância dos erros (SILVA, 2008). Dessa forma a krigagem ordinária permite a análise do erro e determinação da variância, atribuindo a partir disso, pesos aos dados empregados nas estimativas visando que o erro médio e a variância apresentem valores mínimos (GARCIA, 2017).

O erro médio cometido na estimativa ($\bar{r}$) pode ser definido conforme a equação abaixo.

$$\bar{r} = \sum_{i=0}^n \left(\frac{\hat{V}_i - V_i}{N} \right) \quad (\text{Equação 7})$$

Onde $\hat{V}_i$ representa o valor estimado, V_i representa o valor real e N representa a quantidade de estimativas.

A relação espacial entre o valor estimado e o valor real ($Var\{r(x_o)\}$) pode ser determinada através do cálculo da variância do erro, conforme a equação.

$$Var\{r(x_o)\} = Cov\{\hat{V}_{(x_o)}\hat{V}_{(x_o)}\} - 2Cov\{\hat{V}_{(x_o)}V_{(x_o)}\} - Cov\{V_{(x_o)}V_{(x_o)}\} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde $Cov\{ \}$ representa a covariância de valores reais e estimados.

Através da distribuição de pesos na krigagem ordinária é possível reduzir o erro residual e a variância, sendo que quanto maior a distância entre as amostras, menor o peso. Segundo Garcia (2017), essa distribuição dos pesos a diferentes amostras é habitualmente obtida através de uma matriz de covariância espacial, exemplificada pela autora em seu trabalho.

É possível realizar uma validação cruzada para averiguar a confiabilidade do modelo proposto de apresentar os dados pretendidos no estudo após confeccionar os semivariogramas e ajustar o modelo experimental ao teórico. Segundo Andriotti (2009), para realizar essa validação deve-se retirar uma amostra do conjunto de dados e fazer uma krigagem para avaliar o seu valor, de tal forma que quanto mais próximo de zero for o valor médio das diferenças, melhor será a estimativa. O autor descreve em seu trabalho os passos para realização cruzada, sendo importante salientar que ela não determina se o modelo utilizado é correto. Ela determina a capacidade do método em estimar valores próximos dos reais.

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo será apresentado o método utilizado para análise do perfil geológico-geotécnico da área delimitada na região sudoeste do plano diretor do município de Palmas, por meio da elaboração da carta da profundidade do impenetrável à percussão, cartas da profundidade do nível d'água para os períodos úmido e seco, bem como as cartas do estado de compactidade e consistência do solo para as profundidades de 1 a 12 metros. Para isso, foi necessário o estudo da caracterização geológico-geográfica de Palmas, delimitação da área de estudo e a sistematização e espacialização dos dados.

6.1 Análise da área de estudo

6.1.1 Caracterização geológica-geográfica de Palmas

A cidade de Palmas, capital do estado do Tocantins, localizada no centro geodésico do Brasil (ERIG, G. A.; Nascimento M. E. M., 12–27, 2019), tem uma área territorial de 2.227,444 km² e uma população estimada 306.296 pessoas no ano de 2020 de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020).

Em 02 de abril de 2018, foi feita a lei complementar nº 400 que dispõe sobre o Plano Diretor da cidade de Palmas, a qual diz que:

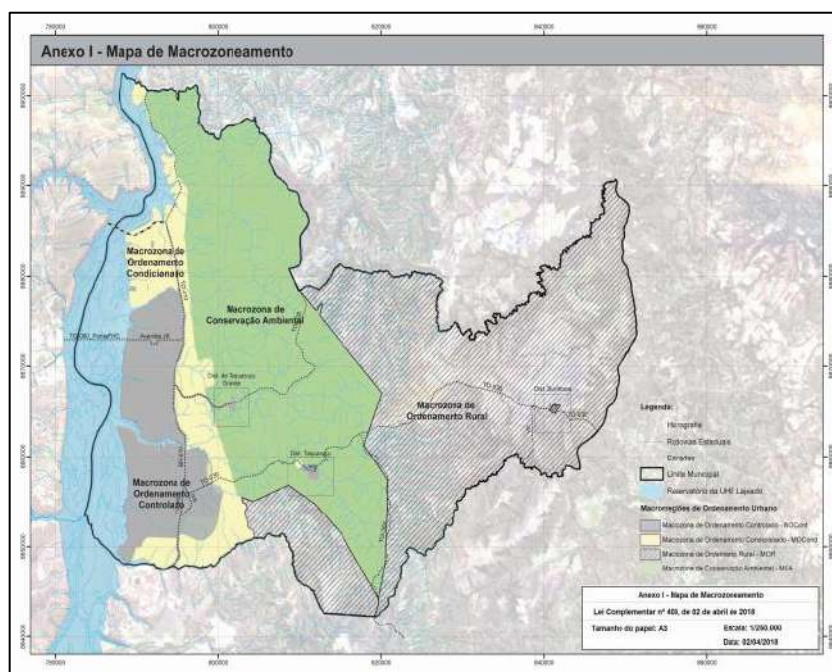
“A função social da cidade de Palmas corresponde ao direito à terra, à moradia, ao saneamento ambiental, a uma cidade humanizada, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho, à cultura, ao lazer e ao meio ambiente sustentável, para as presentes e futuras gerações” (PALMAS, 2018).

Segundo Castro (2018), a capital do estado do Tocantins está localizada em um município de topografia escarpada com altitude média de 246 metros sobre o nível do mar, mas o seu Plano Diretor localiza-se em uma região plana, com predominância de declividade entre 2% e 10%. Segundo Garcia (2017), o cenário de planície da capital tocantinense contribui para o planejamento de construções, diminuindo custo com aterros, entretanto, devido as baixas variações altimétricas, às obras de drenagem e esgotamento sanitário demandam mais investimentos por conta do baixo escoamento de água e resíduos, bem como ao acúmulo de sedimentos.

Castro (2018) afirma que a cidade é dividida hidrograficamente pela “Bacia do Ribeirão Água Fria, Bacia do Córrego Sussuapara, Bacia do Córrego Comprido, Bacia do Córrego da Prata e Bacia do Ribeirão Taquaruçu”. Castro, et al. (2016) cita no plano diretor de Palmas estão presentes três formações geológicas, sendo elas: Terraços fluviais de Rio Tocantins, Formação Pimenteiras e Formação Serra Grande. Sendo que as principais são a Formação Pimenteira, a qual apresenta camadas argilosas siltosas e arenosas com permeabilidade relativamente baixa; e os terraços fluviais, que apresentam espessas camadas arenosas com presença de seixo, tendo este permeabilidade elevada. Os depósitos fluviais estão localizados à margem do Lago de Palmas, sendo essa área suscetível à erosão e lençol freático raso por conta da alta permeabilidade, fato que implica em significativos impactos em obras civis na região (CASTRO, 2018).

A figura 11 mostra a divisão da cidade de Palmas feita pelo Plano diretor em macrozonas: Macrozona de Ordenamento Controlado (MOCont), Macrozona de Ordenamento Condicionado (MOCond), Macrozona de Ordenamento Rural (MOR) e Macrozona de Conservação Ambiental (MCA).

Figura 11 – Mapa de Macrozoneamento

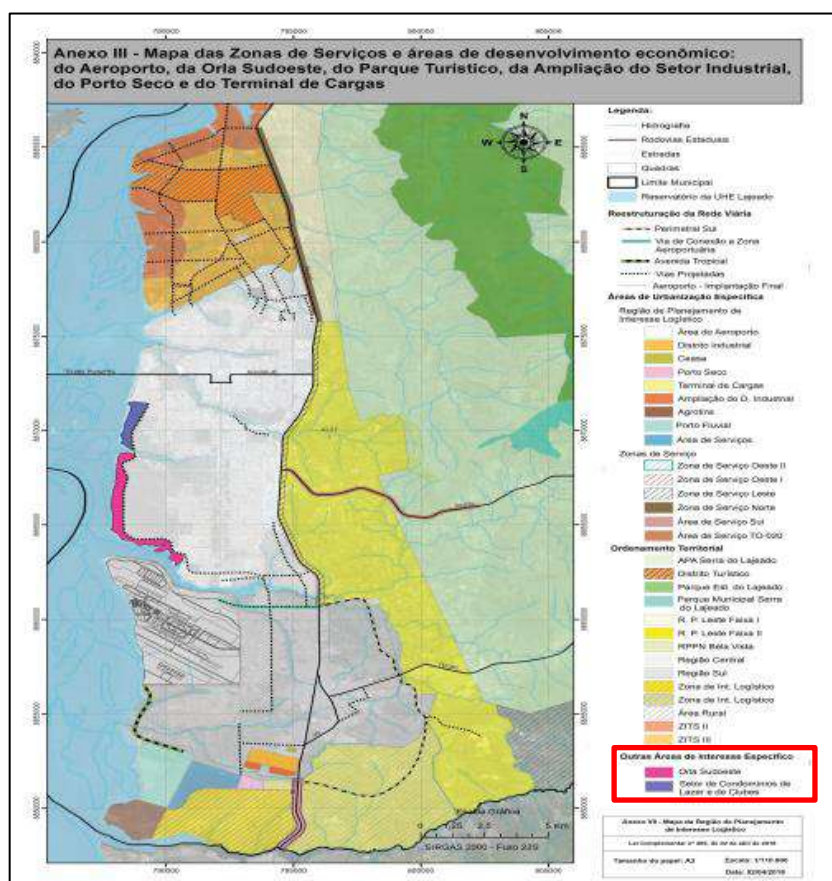


Fonte: Adaptado de Palmas (2018).

Partindo da análise das macrozonas definidas pelo plano diretor, em conjunto com os dados geotécnicos disponíveis para execução da pesquisa, o trabalho em questão delimitou seu estudo a área inserida na região sudoeste da Macrozona de Ordenamento Condicionado

(MOCond), onde estão inseridos o setor de condomínios de lazer e de clubes (representados em cor azul na figura 12), considerado área de desenvolvimento econômico pelo plano diretor, assim como a Orla Sudoeste (representado em cor violeta na figura 12), também considerada uma área de interesse específico. Esses fatores evidenciam a relevância do estudo da área em questão.

Figura 12 – Área de Desenvolvimento econômico estudada no trabalho

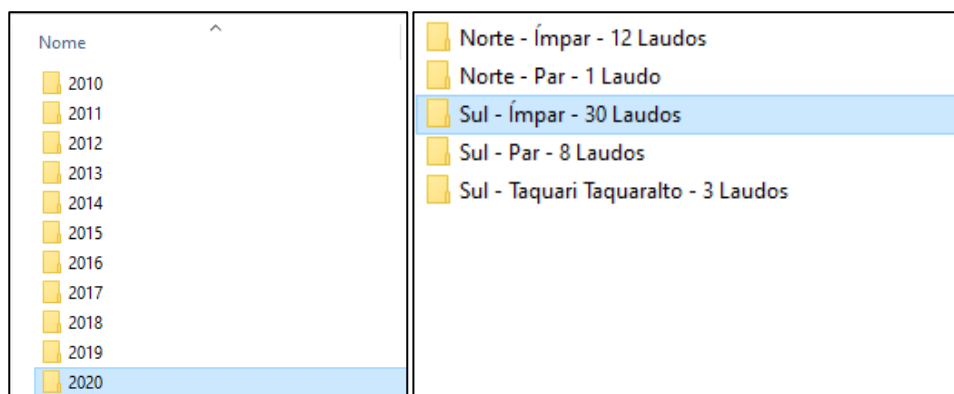


Fonte: Adaptado de Palmas (2018).

6.1.2 Delimitação da área de estudo

A Técnica Engenharia forneceu para o estudo em questão, laudos de sondagem dos anos compreendidos entre 2010 e 2020, no anexo A está o documento da empresa autorizando a utilização dos dados. Com esses laudos em mãos, foi feita uma análise prévia da quantidade de laudos de sondagens divididos em pastas por ano e por regiões do Plano diretor, conforme a figura 13.

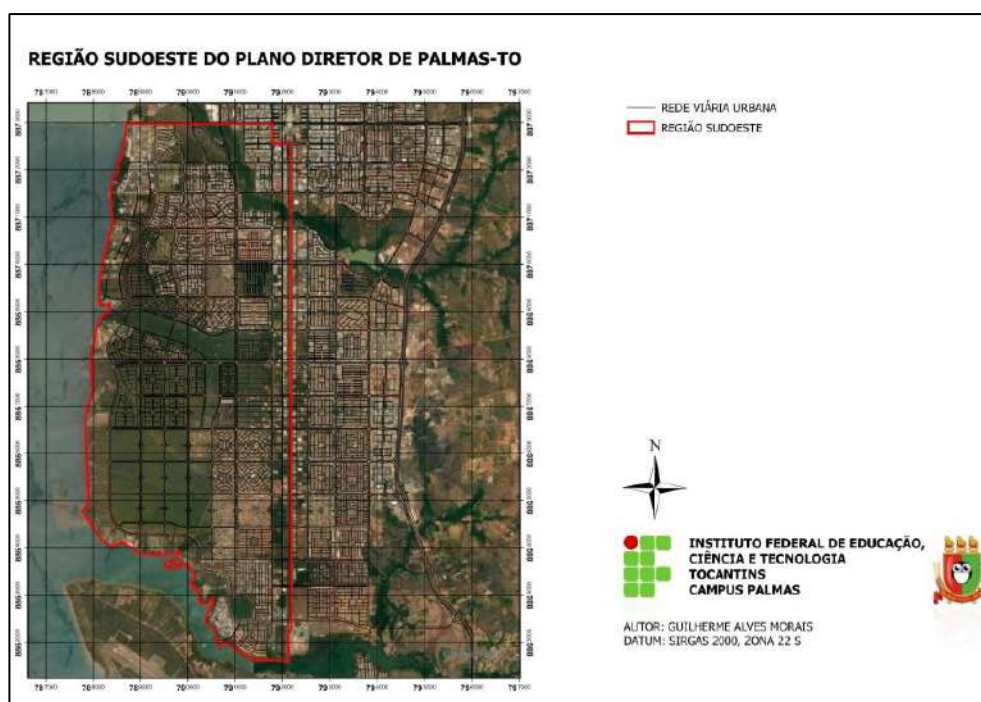
Figura 13 – Pastas para armazenamento dos dados



Fonte: Capturado pelo autor (2021).

Foi observada uma grande densidade de dados na região “Sul – Ímpar”, que corresponde à região sudoeste do Plano Diretor do município de Palmas, a qual contém 660 laudos de sondagem realizados entre os anos de 2010 e 2020 na área delimitada no sentido norte pela Avenida Juscelino Kubitschec, no sentido leste pela Avenida Teotônio Segurado, delimitada no sentido oeste pelas margens do lago de Palmas do Rio Tocantins e no sentido sul pelo Ribeirão Taquaruçu grande, conforme a figura 14 abaixo. A área total da Região Sudoeste conforme delimitação previamente descrita é de 40,51 Km², portanto a densidade de dados nessa região é de 16,29 dados/Km².

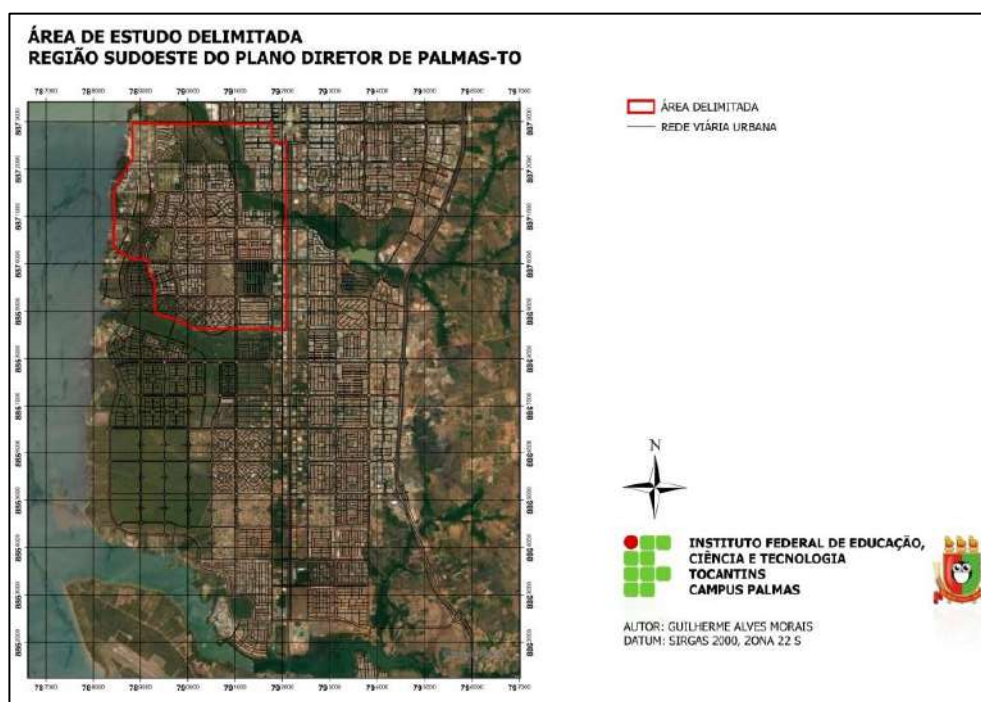
Figura 14 – Região Sudoeste do Plano Diretor de Palmas – TO



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Observou-se que 392 desses dados estavam localizados na área delimitada no sentido norte à Avenida Juscelino Kubitschec; no sentido leste pela Avenida Teotônio Segurado; no sentido oeste, pelas quadras 111 sul, 311 sul, 513 sul, 509 sul, e 611 sul; e no sentido sul pelas quadras 601 sul, 603 sul, 605 sul, 607 sul e 611 sul. Sendo esta definida como a área delimitada para o estudo em questão, conforme figura 15 abaixo.

Figura 15 – Área de estudo delimitada

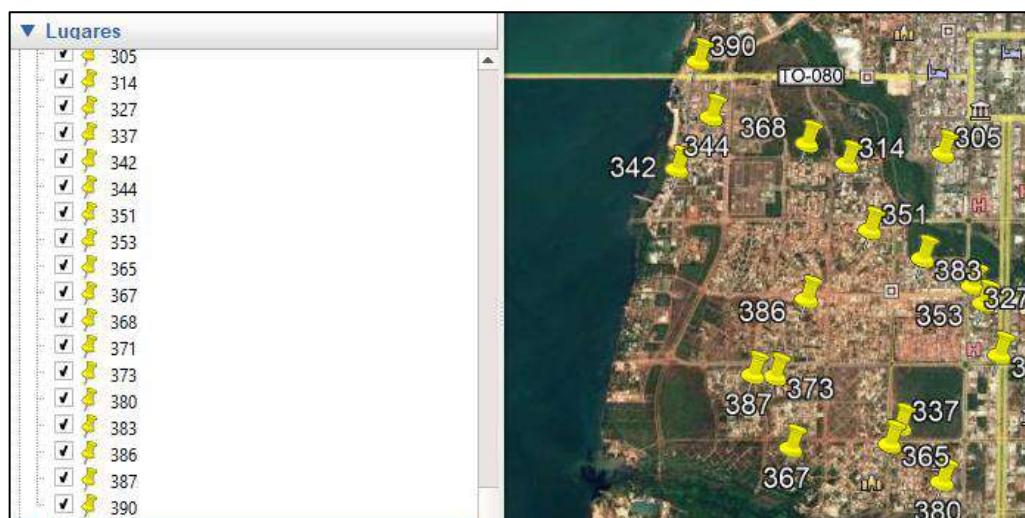


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Sendo assim, 59,39% dos dados da Região Sudoeste do Plano Diretor do município de Palmas estão concentrados na área delimitada do estudo. Essa região tem área total de 13,77 Km², portanto sua densidade de dados é de 28,47 dados/Km².

6.2 Sistematização dos dados

Tendo delimitado a área e catalogado os 392 laudos de sondagem disponíveis, tornou-se possível realizar a sistematização dos mesmos, que consiste nas etapas de obtenção dos dados e a estruturação dessas informações em um banco de dados para posterior utilização no ambiente SIG para sua espacialização.

Figura 17 – Obtenção de coordenadas através do *Google Earth*

Fonte: Capturado pelo autor (2021).

6.2.2 Estruturação dos dados com *EXCEL*

Além da localização e das coordenadas em UTM (latitude e longitude), as seguintes características geotécnicas foram extraídas dos laudos de sondagem e estruturadas com uso do *software EXCEL* (Figura 18): Profundidade do impenetrável (m), profundidade do nível d'água (m), índice de resistência à penetração (a cada metro), tipo de solo (a cada metro) e designação do solo (a cada metro). O trabalho em questão analisou as camadas do solo até a profundidade de 12 metros.

Figura 18 – Digitalização das informações dos laudos de sondagem

DADOS INICIAIS		COORDENADAS - UTM (ZONA 22 S)		IMPENETRÁVEL	NÍVEL D'ÁGUA	CAMADA 1 (-1,00 À -1,45)		
QTE	LOCALIZAÇÃO	LONGITUDE	LATITUDE	(M)	(M)	N	SOLO	DESIGNAÇÃO
1	101 Sul, Av. Teotônio Seg.	792072	8872250	12,27	3,50	14	S	3
2	101 Sul, Av. Teotônio Seg.	792067	8872219	13,13	4,80	6	C	8
3	101 Sul, Av. Teotônio Seg.	792032	8872220	12,08	5,00	8	C	8

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nos próximos tópicos serão abordados os critérios para obtenção dos valores dos atributos mencionados. Uma vez que as informações dos laudos foram estruturadas em planilha *EXCEL*, os arquivos de banco de dados foram salvos em extensão aceita pelo *software ArcGis*, do tipo CSV (separado por vírgulas) (*.csv).

6.2.3 Análise da profundidade do impenetrável à percussão

Para obtenção dos valores do impenetrável à percussão, em metros, foram considerados no estudo apenas os dados em que a paralização da sondagem ocorreu através dos critérios estabelecidos pela NBR 6484 (2020). Com isso, foram excluídos da análise da profundidade do impenetrável os dados provenientes de laudos que não o alcançaram por motivos técnicos de execução (fechamento do furo, perda ou risco de perda do equipamento) ou por necessidades do cliente (paralisação na profundidade contratada, fins de projeto, entre outros). Após análise dos critérios de paralização dos laudos estudados, foram obtidos 174 dados para análise da profundidade do impenetrável.

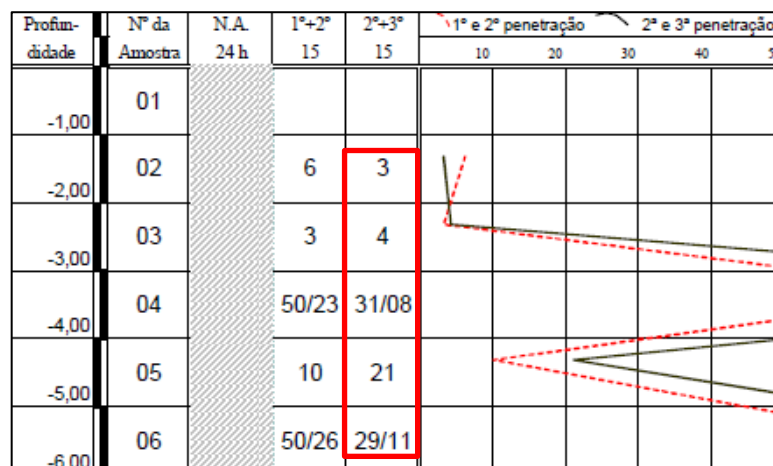
6.2.4 Análise da profundidade do nível d'água

Foram extraídos dos laudos de sondagem registros, em metros, da profundidade do nível d'água, sendo excluídos do estudo os furos onde estavam indicados no laudo ausência de água. Com isso, foram considerados 185 dados na análise da profundidade do nível d'água.

6.2.5 Análise do índice de resistência à penetração

A cada camada de um metro de profundidade posterior ao primeiro metro do ensaio de sondagem, foram extraídos os valores do índice de resistência à penetração (N_{SPT}), bem como a descrição do solo, os quais contribuíram para análise do perfil geológico-geotécnico do solo na região estudada através do estado de compactidade e consistência dos solos. O valor de N_{SPT} corresponde à soma do número de golpes necessários para penetração dos dois últimos segmentos de 15 cm (de um total de 3 segmentos) do amostrador-padrão no solo, conforme evidenciado na figura 19.

Figura 19 – Isovalores do índice de resistência à penetração



Fonte: Capturado pelo autor (2021).

Na apresentação dos valores de N_{SPT} nos laudos utilizados para elaboração desse trabalho, haviam dois modelos de apresentação: um número inteiro que correspondia ao número de golpes para penetração dos dois últimos segmentos de 15 cm; ou uma fração, cujo numerador correspondia ao número de golpes realizados e o denominador correspondia à profundidade, em centímetros, de cravação do amostrador padrão (inferior a 30 centímetros) para esse número de golpes.

Nos casos em que N_{SPT} foi representado no laudo por meio de fração, foi necessário realizar uma projeção para obtenção de números inteiros que representassem o índice de resistência à penetração dos últimos 30 cm de cravação do amostrador. A projeção realizada para análise desse trabalho consistiu em multiplicar as frações por 30. Foi adotado como critério de análise um valor de N_{SPT} máximo de 50 para as projeções, bem como para o impenetrável. Optou-se por retirar o valor de N_{SPT} das camadas abaixo da profundidade do impenetrável, uma vez que não havia evidências da descrição do tipo de solo para essas camadas.

6.2.6 Análise do estado de compactidade e consistência dos solos

Aliado aos valores de N_{SPT} , informações foram extraídas da “descrição do solo” dos laudos de sondagem a cada camada de um metro de profundidade posterior ao primeiro metro do ensaio. Sendo assim, o solo foi classificado em cada metro de profundidade em dois grupos, o primeiro composto por areias e siltes arenosos (S); e o segundo composto por argilas e siltes argilosos (C). Tal classificação foi feita conforme o anexo A da NBR 6484

(2020). Na planilha elaborada para esse estudo, a sigla “S” foi escolhida por conta da palavra *sand* que significa “areia” em Inglês e a sigla “C” foi escolhida por conta da palavra *clay* que significa “argila” em Inglês.

Uma vez definido o tipo de solo, tornou-se possível determinar o estado de compactidade e consistência dos solos em cada metro de profundidade, conforme instruído no anexo A da NBR 6484 (2020). Para o grupo “S”, a designação obtida é a compactidade, que pode ser determinada, com uso valor de N_{SPT} , em: fofa(o), pouco compacta(o), mediamente compata(o), compacta(o) ou muito compacta(o). Para o grupo “C” a designação obtida é a consistência, que pode ser determinada, com uso valor de N_{SPT} , em: muito mole, mole, média(o), rija(o), muito rija(o) ou dura(o).

Essas informações foram estruturadas na planilha para serem utilizadas como base do banco de dados geológico-geotécnico com informações dos laudos de sondagem organizadas de maneira que viabilizassem a execução de futuras interpolações. Dessa forma, foi necessária a criação de parâmetros para interpolação dos dados de designação, conforme demonstrado na tabela 4, onde os valores de 1 a 5 representam a compactidade das areias e siltes arenosos, e os valores de 6 a 11 representam os valores da consistência das argilas e siltes argilosos.

Tabela 4 – Parâmetros para interpolação do estado de compactidade e de consistência

Tipo de Solo	Designação	Índice de resistência à penetração (N_{SPT})	Valor do atributo
Areias e siltes arenosos (S)	Fofa (o)	≤ 4	1
	Pouco compacta(o)	5 a 8	2
	Mediamente compacta(o)	9 a 18	3
	Compacta(o)	19 a 40	4
	Muito compacta(o)	> 40	5
Argilas e siltes argilosos (C)	Muito mole	≤ 2	6
	Mole	3 a 5	7
	Média(o)	6 a 10	8
	Rija(o)	11 a 19	9
	Muito rija(o)	20 a 30	10
	Dura(o)	> 30	11

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Por dependerem da descrição do solo e dos isovalores de N_{SPT} , na análise da designação do solo foram consideradas diferentes quantidades de dados a cada metro

estudado, observando-se com isso um decréscimo de informações para as maiores profundidades estudadas.

6.3 Espacialização dos dados

A espacialização dos dados foi realizada em ambiente SIG, através do uso do *software ArcGis*. Nessa etapa foram georreferenciadas as coordenadas, adquiridos *shapefiles* das vias urbanas e hidrografia de Palmas, desenvolvidos os bancos de dados geológico-geotécnicos através de *shapefiles* de ponto em ambiente SIG, feita a análise geoestatística, criado um mapa temático auxiliar e foram definidas a escala de trabalho e legendas para as cartas geotécnicas.

6.3.1 Georreferenciamento dos dados

Para a realização do georreferenciamento dos dados estudados nesse trabalho, foram determinados o tipo de projeção, o Datum e a zona em que as coordenadas da área delimitada se encontram. O referencial geodésico utilizado no trabalho foi o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), realizado no ano de 2000 (SIRGAS 2000). Como mencionado anteriormente, o sistema de coordenadas definido para utilização desse trabalho foi o UTM, com projeção *Transversa de Mercator* UTM 22S, e unidade de medida em metros.

Para auxílio da referência dos dados estudados, foram utilizados os mapas base no formato imagem e topográfico disponibilizados pelo *Software ArcGis*, além de arquivos no formato *shapefile* do sistema viário urbano e hidrografia do plano diretor da cidade, obtidos através do acesso ao site¹ do Sistema de Informações Geográficas de Palmas (GEOPALMAS).

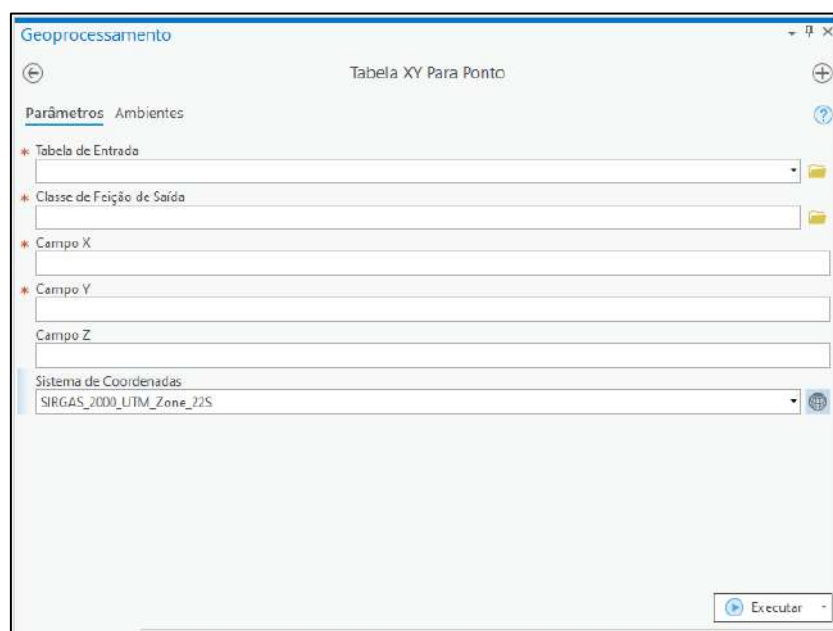
6.3.2 Desenvolvimento dos bancos de dados geológico-geotécnicos

Os bancos de dados geológico-geotécnicos tiveram como subsídio a planilha em *EXCEL* elaborada para digitalização das informações dos laudos de sondagem. Foram criados

¹ <https://geopalmasweb.wixsite.com/geopalmas>

arquivos do tipo CSV que possibilitaram a incorporação dos atributos da planilha no *ArcGis* para criação de *shapefiles*. A primeira etapa da sequencia executiva para criação de cada *shapefile* consistiu em adicionar dados de ponto x,y ao mapa em ambiente SIG através da função de geoprocessamento do *software ArcGis* denominada “Tabela XY Para Ponto”, conforme evidenciado na figura 20.

Figura 20 – Tabela XY Para Ponto



Fonte: Capturado pelo autor (2021).

Nos itens de “Tabela de entrada” foram inseridas as respectivas tabelas de atributos compostas pelos dados dos arquivos em CSV de cada *shapefile* a ser criado. O item “Classe de Feição de saída” corresponde ao local e nome do arquivo a ser gerado. No “Campo X” foi selecionado o atributo da longitude e no “Campo Y” foi selecionado o atributo da latitude de cada tabela de atributo inserida. Não foram inseridos dados no “Campo Z”. O “Sistema de Coordenadas” selecionado foi o “SIRGAS_2000_UTM_Zone_22S”. Com a execução desse procedimento foram criadas feições de geodatabase, sendo que para conversão desses arquivos em *shapefiles*, foi utilizada a função do *ArcGis* “Exportar feições”.

Para a realização das análises referente à profundidade do impenetrável foi criado um *shapefile* de ponto com tabela de atributos que contém os seguintes atributos: “ID_Sond” (sequência numérica de identificação de cada furo de sondaagem), “Long_UTM” (Coordenada de longitude em UTM), “Lat_UTM” (Coordenada de latitude em UTM) e “IMPENETRÁVEL” (Profundidade do impenetrável à sondagem SPT). Os atributos

“ID_Sond”, “Long_UTM” e “Lat_UTM” estão presentes em todos os *shapefiles* criados. Na figura 21 observamos a tabela de atributos descrita.

Figura 21 – Tabela de atributos para Profundidade de Impenetrável

PONTOS - IMPENETRÁVEL						
Campo:		Seleção:				
OBJECTID *	Shape *	ID_Sond	Long_UTM	Lat_UTM	IMPENETRABEL	
1	Ponto	1	792072	8872250	12,27	
2	Ponto	2	792067	8872219	13,13	
3	Ponto	3	792032	8872220	12,08	
4	Ponto	4	791652	8872460	12,19	
5	Ponto	5	791103	8872927	9,1	

Fonte: Capturado pelo autor (2021).

Para a realização das análises referente à profundidade do nível d’água foi criado um *shapefile* de ponto com tabela de atributos que contém os seguintes atributos: “ID_Sond”, “Long_UTM”, “Lat_UTM” e “NIVEL_DAGUA” (Profundidade do nível d’água observado no ensaio SPT). Na figura 22 observamos a tabela de atributos descrita.

Figura 22 – Tabela de atributos para Profundidade do Nível d’água

PONTOS - NÍVEL D'ÁGUA						
Campo:		Seleção:				
OBJECTID *	Shape *	ID_Sond	Long_UTM	Lat_UTM	NIVEL_DAGUA	
1	Ponto	1	792072	8872250	3,5	
2	Ponto	2	792067	8872219	4,8	
3	Ponto	3	792032	8872220	5	
4	Ponto	4	791652	8872460	7,1	
5	Ponto	9	791482	8872111	6,5	

Fonte: Capturado pelo autor (2021).

Para a realização das análises referentes à designação do solo, foram criados 12 *shapefiles* de ponto referentes a cada camada do solo estudado até a profundidade de 12 metros do ensaio SPT. A tabela de atributos (figura 23) desses *shapefiles* contém os seguintes atributos: “ID_Sond”, “Long_UTM”, “Lat_UTM” e “DESIGNAÇÃO” (Estado de compactidade e consistência dos solos).

Figura 23 – Tabela de atributos para designação de Solo

PONTOS - PROF: 1,00M X						
Campo:		Seleção:				
OBJECTID *	Shape *	ID_Sond	Long_UTM	Lat_UTM	DESIGNACAO	
1	Ponto	1	792072	8872250	3	
2	Ponto	2	792067	8872219	8	
3	Ponto	3	792032	8872220	8	
4	Ponto	4	791652	8872460	9	
5	Ponto	5	791103	8872927	9	

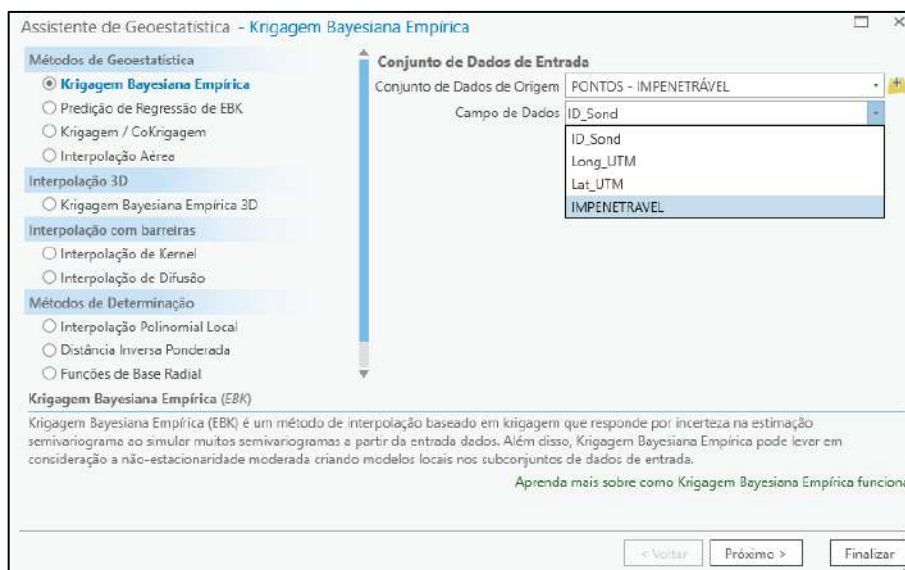
Fonte: Capturado pelo autor (2021).

Dessa forma, os bancos de dados geológico-geotécnicos foram consolidados em ambiente SIG, possibilitando a gestão e análise dos atributos referentes a cada ponto de sondagem. Através da aplicação da geoestatística, esse estudo elaborou cartas que possibilitam o suporte na análise do perfil geológico-geotécnico da região estudada.

6.3.3 Aplicação de geoestatística

Tendo os bancos de dados desenvolvidos, o presente trabalho fez uso da geoestatística para elaboração das cartas geológico-geotécnicas da área de estudo. Segundo Silva (2008), a krigagem ordinária tem o melhor estimador linear quando comparado aos diferentes métodos geoestatísticos existentes. Isso se dá pela realização de estimativas através de uma combinação linear de dados, buscando que o erro residual seja igual a zero e procurando a minimização da variância dos erros. Sendo assim, as interpolações foram realizadas por meio da krigagem ordinária em ambiente SIG através do método do “Assistente de Geoestatística” do *software ArcGis* denominado “Krigagem Bayesiana Empírica”, conforme descrito na figura 24 abaixo.

Figura 24 – Assistente de Geoestatística.



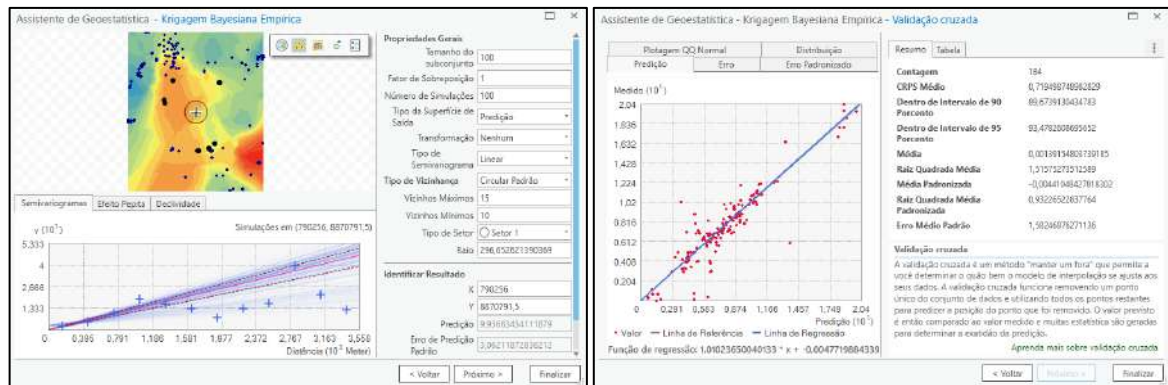
Fonte: ArcGis.

No campo intitulado “Conjunto de Dados de Origem” foram selecionados os *shapefiles* de ponto com tabela de atributos criados para cada análise. Em “Campo de Dados” foram selecionados os atributos a serem espacializados, podendo ser “IMPENETRÁVEL”, “NIVEL_DAGUA” ou “DESIGNAÇÃO”.

O método de “Krigagem Bayesiana Empírica” se sobressai aos demais pela presença de três parâmetros no decorrer de seu mecanismo: “Tamanho do subconjunto”, “Fator de Sobreposição” e “número de simulações”. Manipulações desses três fatores permitiram a diminuição do erro padrão de predição do método a partir da criação de grupos com quantidades limitadas de dados a serem analisados e produção de diversos semivariogramas para cada subconjunto, auxiliando na definição da melhor tendência de valores.

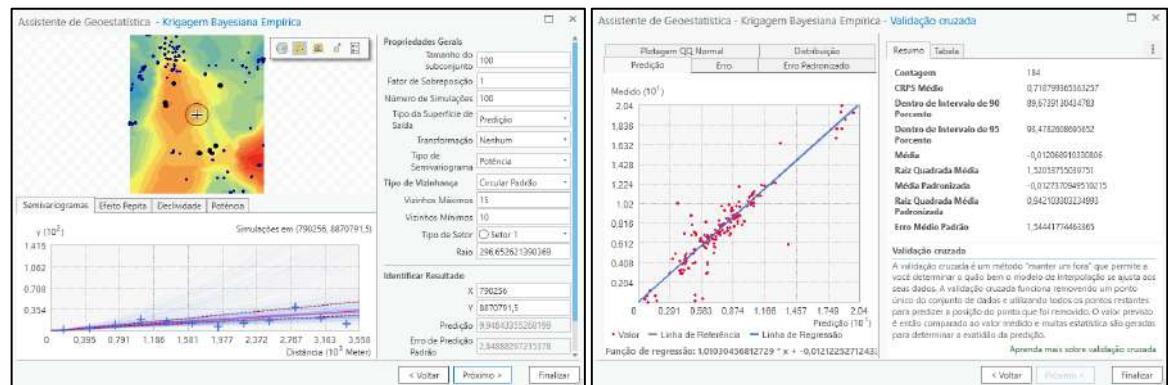
Sendo assim, foram analisados os resultados obtidos através da aplicação dos três tipos de semivariogramas disponibilizados pelo *software* ArcGis: Linear, Potência e Curva Paramétrica Plana Fina. Para cada atributo estudado foi verificado o modelo de semivariograma que resultasse em menor erro médio através da Validação cruzada. As figuras 25, 26 e 27 representam um exemplo da comparação de resultados previamente descrita.

Figura 25 – Semivariograma e Validação Cruzada: Linear



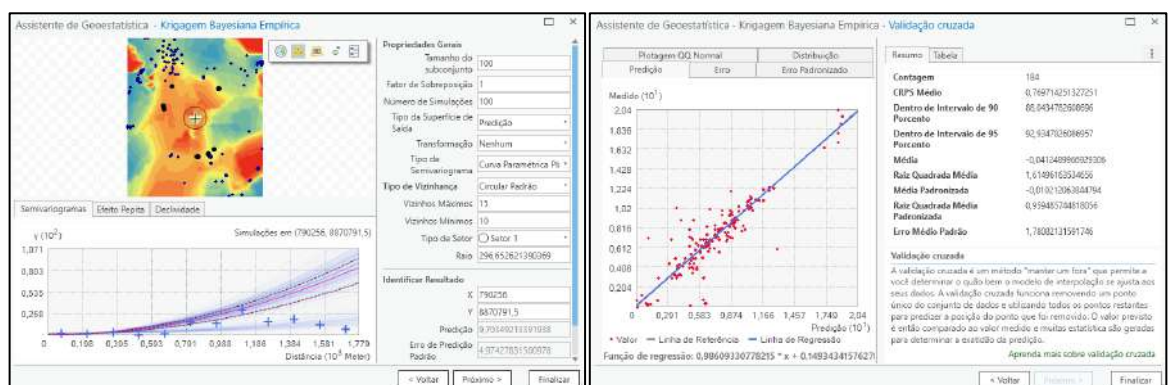
Fonte: ArcGis.

Figura 26 – Semivariograma e Validação Cruzada: Potência



Fonte: ArcGis.

Figura 27 – Semivariograma e Validação Cruzada: Curva Paramétrica Plana Fina



Fonte: ArcGis.

Observou-se na análise que o erro padrão médio para o modelo “Linear” é 1,58, para “Potência” é 1,54 e para “Curva Paramétrica Plana Fina” é 1,78. Dessa forma, percebe-se que a diferença entre os modelos é relativamente pequena, entretanto, o modelo adotado foi a “Potência”, uma vez que possui menor erro padrão médio na análise da Validação cruzada.

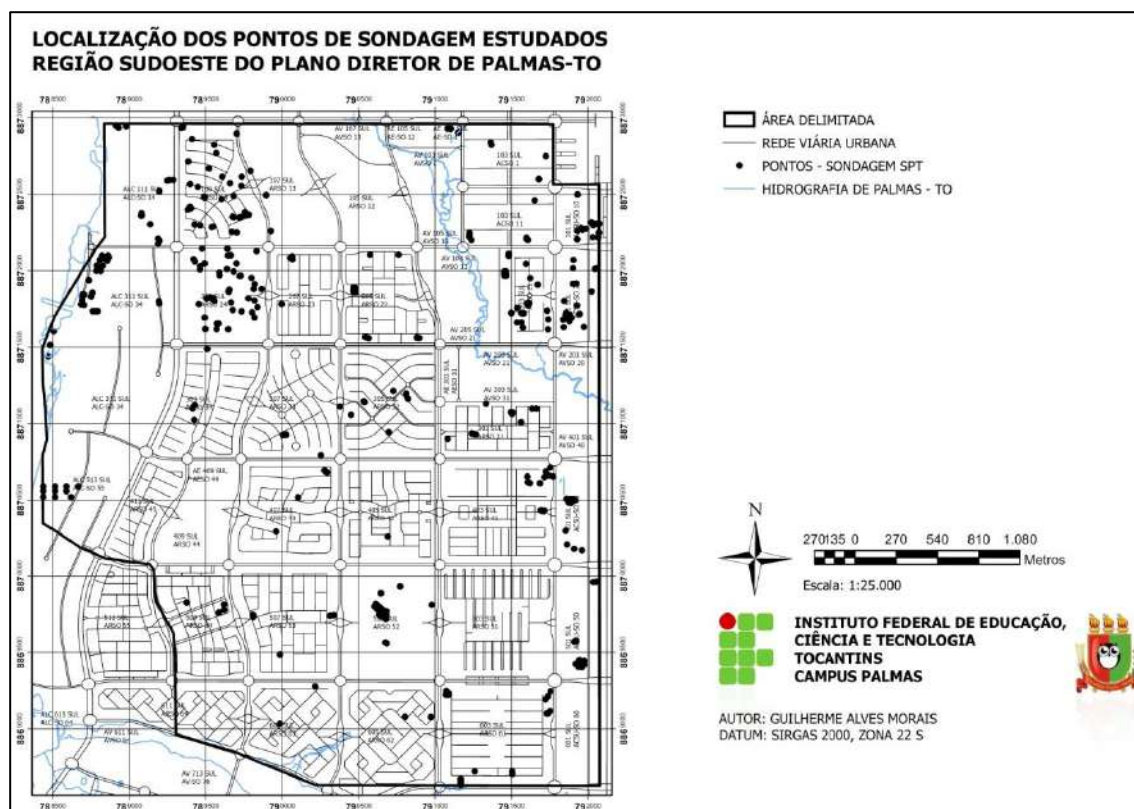
6.3.4 Elaboração do mapa temático da localização dos pontos de sondagem estudados

Com a criação dos *shapefiles* de ponto devidamente georreferenciados e obtenção dos *shapefiles* do sistema viário urbano e hidrografia de Palmas, tornou-se possível elaborar um mapa temático da área de estudo que permitisse a visualização da localização dos pontos estudados, bem como da hidrografia e malha viária de Palmas. Para sua elaboração, foi necessário também criar um *shapefile* de área referente à delimitação da área de estudo, através dos seguintes passos:

- Criação de classe de feição georreferenciada em ambiente SIG;
- Elaboração de polígono (através da função “Criar feições” do *ArcGis*) para delimitação da área de estudo que contornasse a região dos pontos de sondagem estudados;
- Conversão da feição criada para *shapefile* através da função do *ArcGis* “Exportar feições”.

O *shapefile* da área de estudo foi utilizado posteriormente como máscara na geração das cartas geotécnicas. A figura 28 apresenta o mapa temático criado.

Figura 28 – Mapa temático da localização dos pontos de sondagem estudados²



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O mapa temático, associado aos bancos de dados geológico-geotécnicos, serviu de subsídio para elaboração das cartas referentes aos elementos do solo.

6.3.5 Definição da escala de trabalho das cartas geotécnicas

Para a definição da escala a ser utilizada nesse trabalho foi adotada a metodologia criada pelo Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), a qual tem como elemento básico o atributo. Segundo Abreu (2007), a ferramenta gerencial do método da EESC/USP foi proposta inicialmente para trabalhos em escalas entre 1:100.000 e 1:250.000, com a finalidade de planejamento regional, para áreas maiores que 1.500 km², e foi sendo progressivamente adaptado para utilização em outras escalas, de maior detalhe. Caracterizando como uma ferramenta para o planejamento em nível geral (escalas menores que 1:100.000), regional (escalas entre 1:100.000 e 1:50.000) ou local (escalas entre 1:25.000 e 1:10.000), a depender da escala de trabalho adotada.

² O mapa temático na escala mencionada está disponível no Apêndice A desse documento

No intuito de se definir a escala para o trabalho em questão, foram feitas análises da representatividade espacial com base nas referências publicadas por Zuquete (1993). Para tal, foi elaborado um quadro com a quantidade de dados considerados na análise de cada uma das cartas elaboradas nesse estudo.

Quadro 5 – Quantidade de dados considerados nas análises

DESCRIÇÃO	Nº DE FUROS	ÁREA DELIMITADA (M2)	OBSERVAÇÕES/KM2	RESOLUÇÃO ESPACIAL (R)
PROF: 1,00 METRO	392	13.766.871,70	28,47	187,40
PROF: 2,00 METROS	385		27,97	189,10
PROF: 3,00 METROS	378		27,46	190,84
PROF: 4,00 METROS	369		26,80	193,15
PROF: 5,00 METROS	361		26,22	195,28
PROF: 6,00 METROS	354		25,71	197,20
PROF: 7,00 METROS	345		25,06	199,76
PROF: 8,00 METROS	335		24,33	202,72
PROF: 9,00 METROS	311		22,59	210,40
PROF: 10,00 METROS	279		20,27	222,13
PROF: 11,00 METROS	248		18,01	235,61
PROF: 12,00 METROS	221		16,05	249,59
PROF DO NÍVEL D'ÁGUA	185		13,44	272,79
PROF DO IMPENETRÁVEL	174		12,64	281,28

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O número de furos do quadro 5, para as profundidades de 1 à 12 metros, se referem aos dados considerados na geração da cartas do estado de compacidade e consistência do solo, as quais fizeram uso de valores de N_{SPT} e descrição do solo. Para essas cartas, a quantidade de dados diminuiu a cada metro de profundidade, tendo a menor quantidade de ensaios SPT analisados na profundidade de 12 metros, com 221 dados.

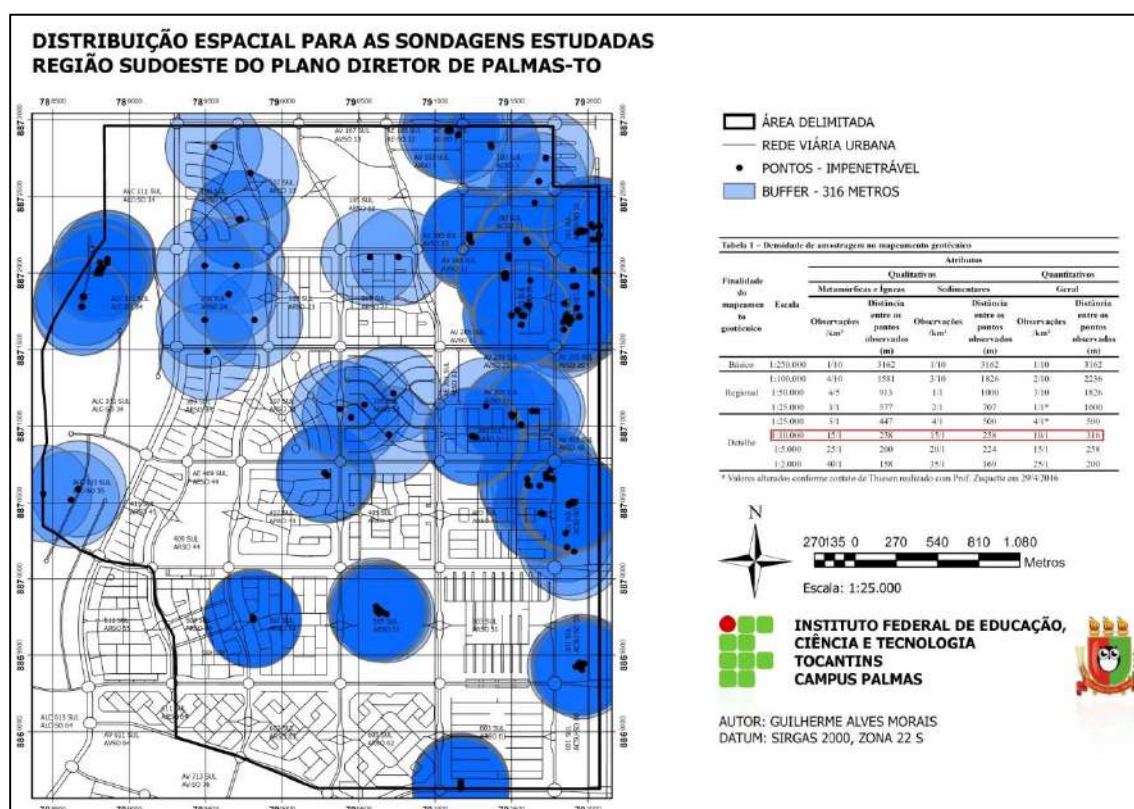
Para a análise da profundidade do nível d'água foram considerados 185 dados. Por fim, para a análise da profundidade do impenetrável foram considerados 174 dados, sendo este o atributo com menos dados, apresentando 12,64 observações/Km² e resolução espacial (R) igual a 281,28 (o valor de R foi obtido através da raiz quadrada da divisão entre a área delimitada, em m², e o número de furos).

Utilizando como critério a tabela 1 – elaborada por Zuquete (2004, apud THIESEN, 2016) – acerca da densidade de amostragem no mapeamento geotécnico, pode-se definir para a análise com menor número de dados a escala de 1:10.000, com finalidade de mapeamento geotécnico “detalhe”. Adotando essa escala para análise de atributos quantitativos

(profundidade do impenetrável) são necessárias 10 observações/km² (número inferior ao analisado) e uma distância entre os pontos de 316 metros.

Sendo assim, o presente trabalho aplicou o espaçamento entre observações de 316 metros, na forma *buffer*, sobre os 174 pontos estudados. Para tal, foi utilizada a ferramenta de análise do *software* ArcGis denominada “*Buffer*”. Na figura 29 observamos a análise feita em ambiente SIG.

Figura 29 – *Buffer* de 316 metros³ para o conjunto de dados da profundidade do Impenetrável



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

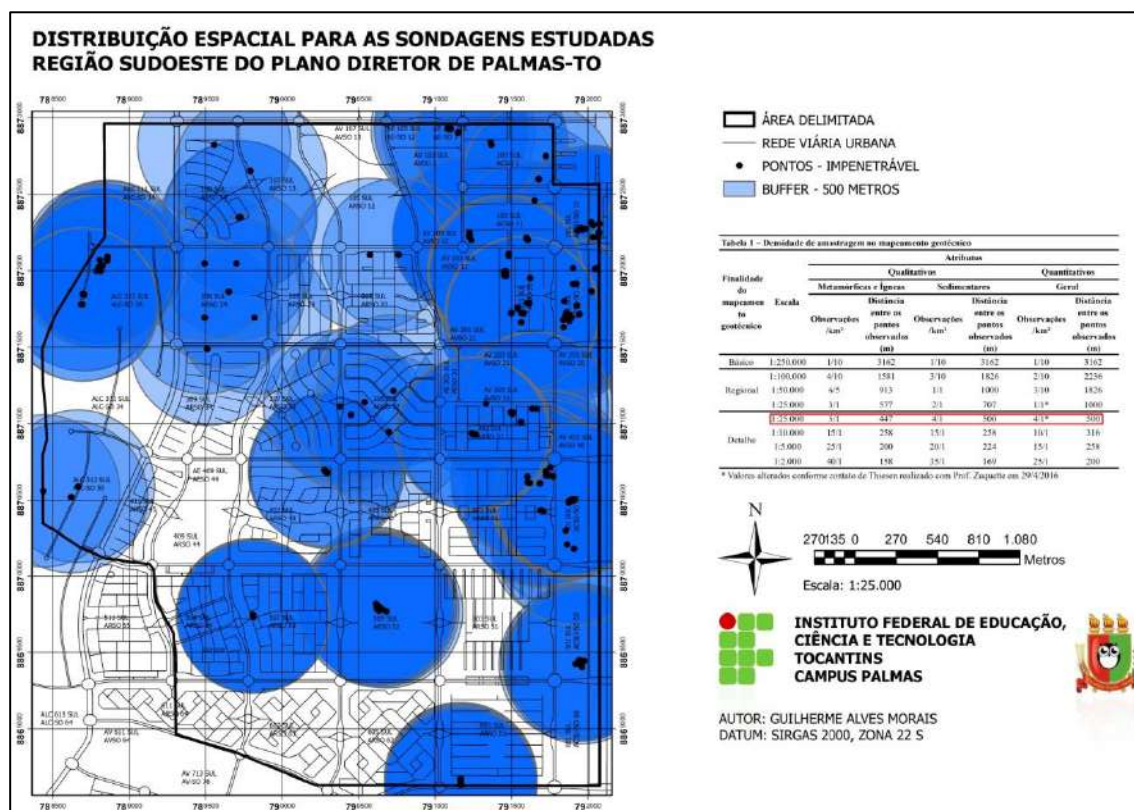
Observou-se que a área coberta pelo *buffer* de 316 metros para o conjunto de dados analisados não abrange uma parte significativa da área de estudo. Isso evidencia que, apesar da quantidade de observações/Km² atender à recomendação de 10/1 para escala de 1:10.000, a distância entre os pontos estudados é superior a distância máxima recomendada entre os pontos.

Dessa forma, foi realizada a análise com *buffer* para a escala de trabalho de 1:25.000, uma vez que necessita de menos observações/Km² do que o observado. Para escala de 1:25.000 é recomendado que a distância máxima entre os pontos seja 500 metros em atributos

³ O *Buffer* de 316 metros na escala mencionada está disponível no Apêndice A desse documento

quantitativos com finalidade de mapeamento geotécnico “detalhe”. Para a mesma escala e tipo de atributo, com finalidade de mapeamento geotécnico “regional”, é recomendado uma distância de, no máximo, 1000 metros. Nas figuras 30 e 31 observamos as análises feitas em ambiente SIG para a escala 1:25.000.

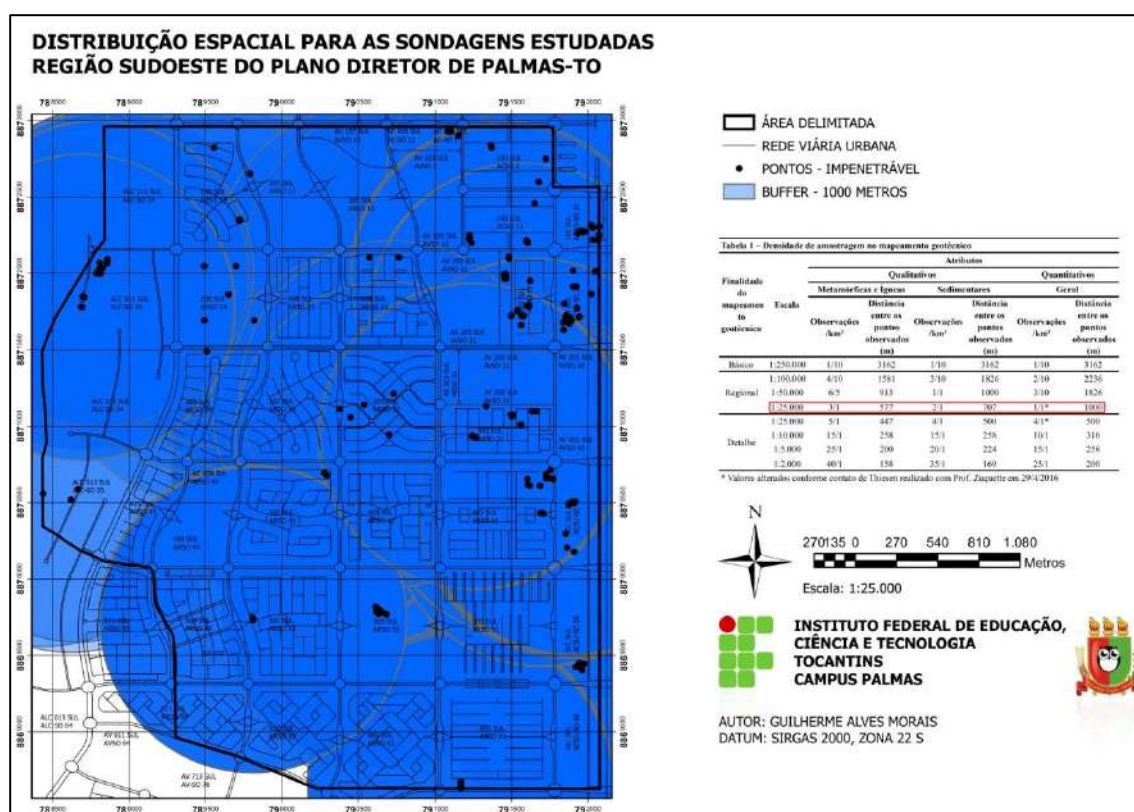
Figura 30 – Buffer de 500 metros⁴ para o conjunto de dados da profundidade do Impenetrável



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

⁴ O Buffer de 500 metros na escala mencionada está disponível no Apêndice A desse documento

Figura 31 – Buffer de 1000 metros⁵ para o conjunto de dados da profundidade do Impenetrável



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em função do volume de dados e da distância entre os pontos estudados na análise com menor número de observações, optou-se por utilizar a resolução de escala de 1:25.000 em todas as cartas elaboradas no trabalho em questão. Apesar da possibilidade de se utilizar uma escala com resolução superior nas demais cartas, optou-se por utilizar a mesma escala, visando uma homogeneização de visualização no estudo.

6.3.6 Análise qualitativa dos dados utilizados nas cartas da profundidade do nível d'água

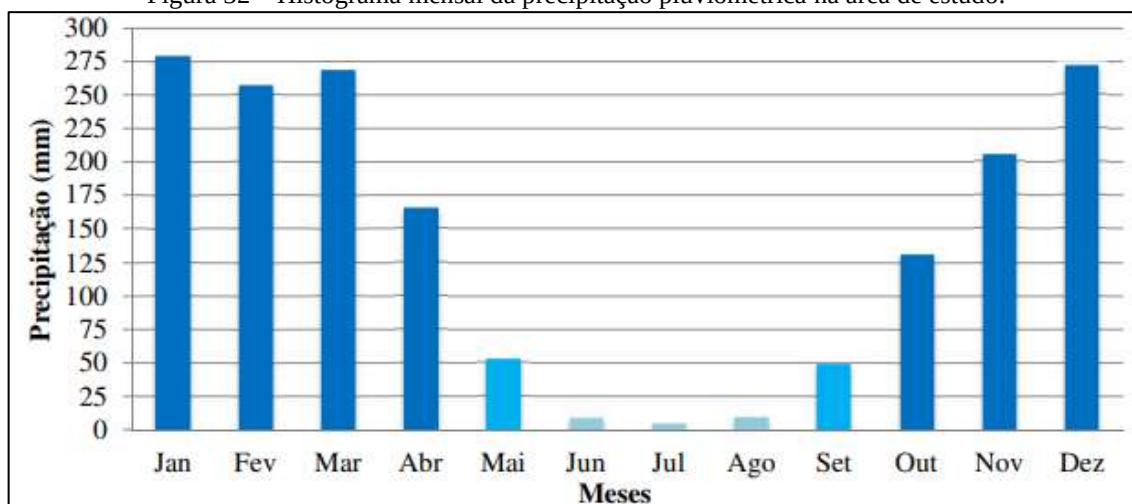
Para a elaboração das cartas referentes à profundidade do nível d'água, tornou-se necessário observar a presença de corpos hídricos, bem como a sazonalidade pluviométrica no local estudado. Visando uma apresentação que melhor represente os resultados da profundidade do nível d'água, foram adicionadas informações da hidrografia de Palmas na análise através da inserção de pontos com valores de entrada igual à zero no decorrer dos elementos hidrográficos do *shapefile* da hidrografia da cidade. Essa inserção de dados foi realizada embasada nos estudos de Santos (2016), Thiesen (2016) e Garcia (2017), que

⁵ O Buffer de 1000 metros na escala mencionada está disponível no Apêndice A desse documento

observaram contornos melhores definidos na superfície do nível d'água com a adição desses pontos.

Apesar da melhoria dos resultados com a incorporação dos dados de hidrografia, a geração de uma carta da profundidade do nível d'água que não considere a sazonalidade pluviométrica pode gerar resultados diferentes em pontos próximos, ocasionando em mudanças bruscas nos resultados obtidos. Sendo assim, os 185 dados da profundidade do N.A. adquiridos por laudos de sondagem foram divididos em dois grupos, de forma a realizar a análise nos períodos seco e úmido. Para a região de estudo, a sazonalidade do ano hidrológico em período úmido começa em outubro e termina em abril, sendo que o período seco começa em maio e termina em setembro (MARCUIZZO; GOULARTE, 2013). A figura 32 abaixo apresenta distribuição pluviométrica anual.

Figura 32 – Histograma mensal da precipitação pluviométrica na área de estudo.



Fonte: Marcuzzo e Goularte (2013).

Dessa forma, para o período seco foram considerados 83 dados de profundidade do N.A. provenientes de ensaios de sondagem SPT, sendo que para o período úmido foram considerados 102 dados, conforme evidenciado no quadro 6 abaixo.

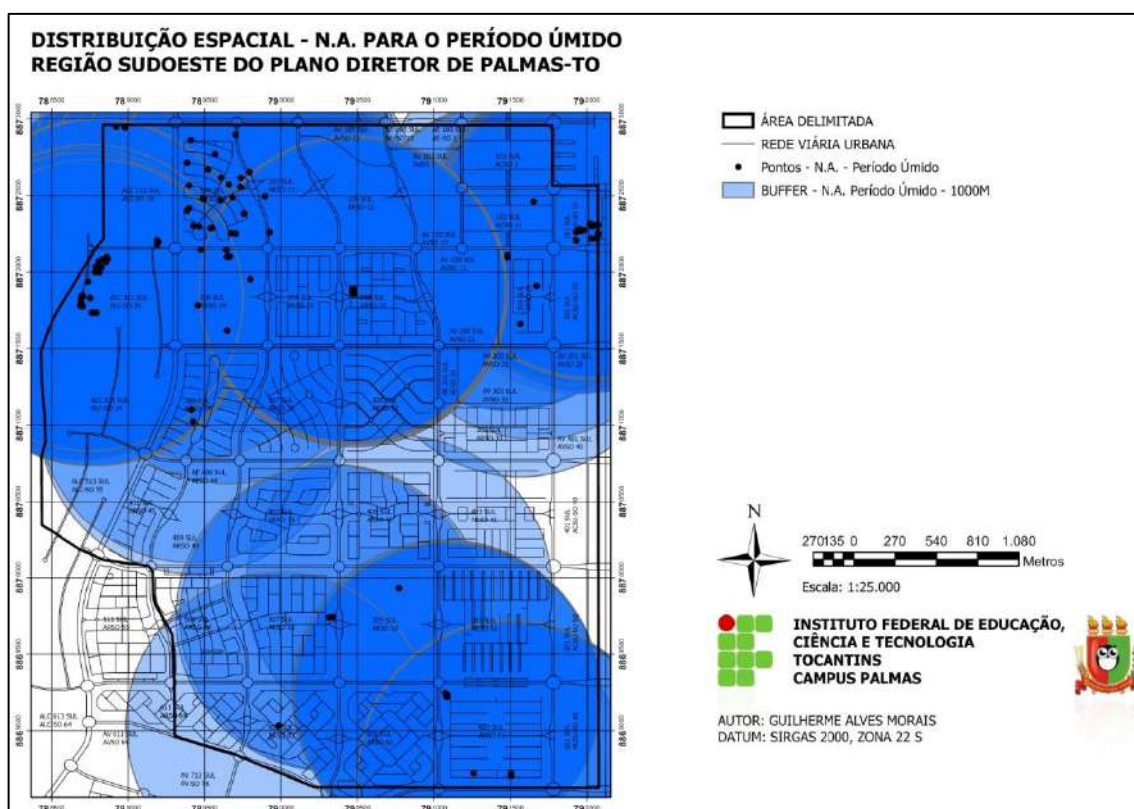
Quadro 6 – Quantidade de dados considerados para os períodos úmido e seco

DESCRIÇÃO	Nº DE FUROS	ÁREA DELIMITADA (M2)	OBSERVAÇÕES/KM2	RESOLUÇÃO ESPACIAL (R)
PROF DO N.A. - PERÍODO ÚMIDO	102	13.766.871,70	7,41	367,38
PROF DO N.A. - PERÍODO SECO	83		6,03	407,27

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para os 102 dados do N.A. para o período úmido, têm-se 7,41 observações/Km² e resolução espacial (R) igual a 367,38, sendo que para os 83 dados do N.A. para o período úmido, têm-se 6,03 observações/Km² e resolução espacial (R) igual a 407,27 (os valores de R foram obtidos através da raiz quadrada da divisão entre a área delimitada, em m², e o número de furos). Tendo definido anteriormente a escala de 1:25.000, a qual possui uma distância de, no máximo, 1000 metros para finalidade de mapeamento geotécnico “regional” em atributos quantitativos, tornou-se necessário observar a área coberta com a aplicação de um *buffer* de 1000 metros para o conjunto de dados dos períodos úmido e seco, conforme imagens 33 e 34.

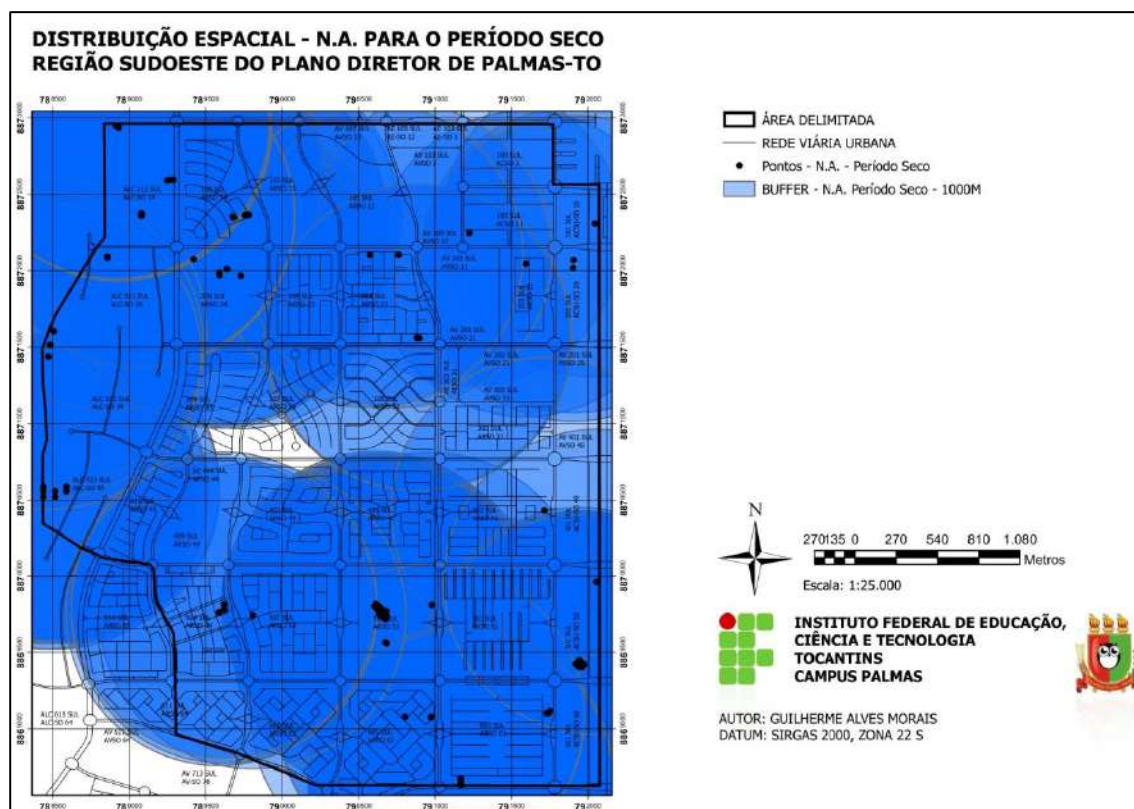
Figura 33 – *Buffer* de 1000 metros⁶ para o conjunto de dados de N.A. para o período úmido



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

⁶ O Buffer de 1000 metros na escala mencionada está disponível no Apêndice A desse documento

Figura 34 – *Buffer* de 1000 metros⁷ para o conjunto de dados de N.A. para o período seco



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Observou-se que a área coberta com a aplicação do *buffer* de 1000 metros para o conjunto de dados analisado para o período úmido abrange uma parte significativa da área de estudo, evidenciando que a distância entre os pontos estudados é superior a distância máxima recomendada para a maioria dos pontos. O mesmo é observado na aplicação do *buffer* de 1000 metros para o conjunto de dados analisado para o período seco. Sendo assim, há dados suficientes para a elaboração das cartas da profundidade do nível d'água para os períodos úmido e seco que serão apresentadas na seção de resultados desse trabalho.

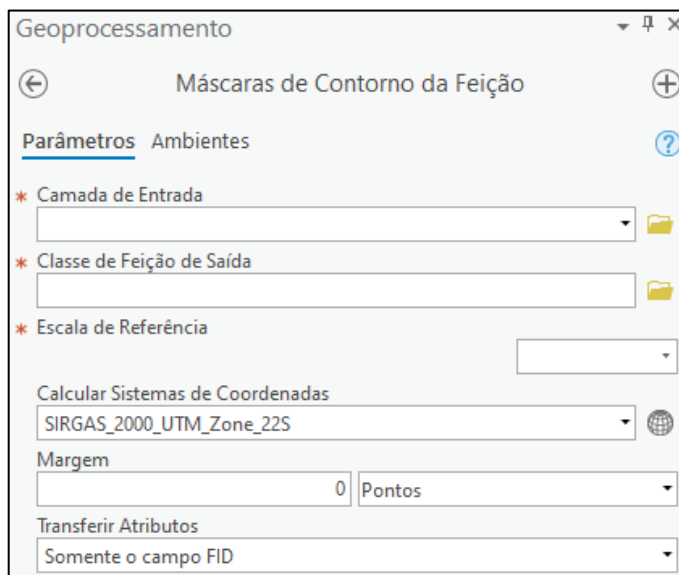
6.3.7 Criação dos *Rasters* e definição de legendas para as cartas geotécnicas

Com as análises estatísticas realizadas através da krigagem ordinária, criação do *shapefile* da delimitação da área de estudo e definição da escala de trabalho, tornou-se possível elaborar as cartas geotécnicas. Para tal, foi criada inicialmente uma máscara de contorno de feição em ambiente SIG através do *shapefile* da delimitação da área de estudo,

⁷ O Buffer de 1000 metros na escala mencionada está disponível no Apêndice A desse documento

com escala de referência 1:25.000 e sistema de coordenada UTM na zona 22S, conforme demonstrado na figura 35 abaixo.

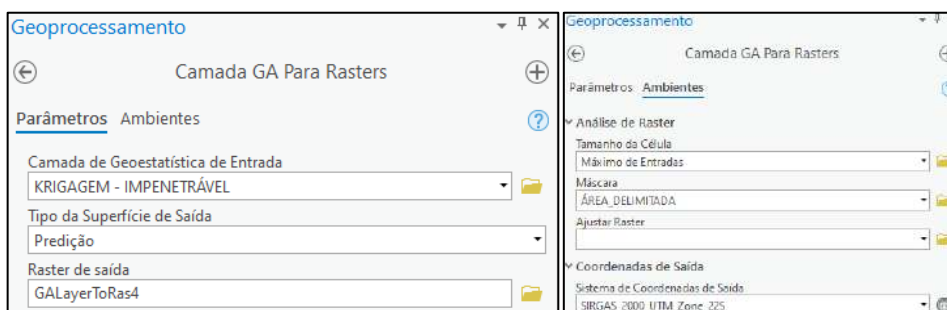
Figura 35 – Criação de Máscara de contorno da Feição



Fonte: Capturado pelo autor (2021).

Para os fins desse trabalho, foram realizadas as converções das camadas de geoestatística criadas através da krigagem ordinária em *rasters*, através da função de geoprocessamento em ambiente SIG “Camada GA Para *Rasters*”. No momento da conversão para *rasters* foi utilizada a máscara de contorno da feição da área de estudo delimitada, conforme figura 36 abaixo.

Figura 36 – Exportação de camadas GA para *Rasters*

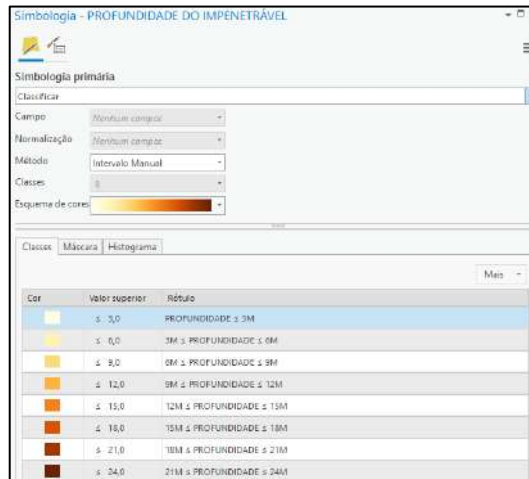


Fonte: Capturado pelo autor (2021).

O uso das simbologias dos *rasters* criados possibilitaram classificações dos valores obtidos através das interpolações de modo a representar de forma visual os parâmetros de

estudo. Para cada carta criada foi elaborada uma legenda específica com suas respectivas definições de classe e esquema de cores, conforme as figuras a seguir.

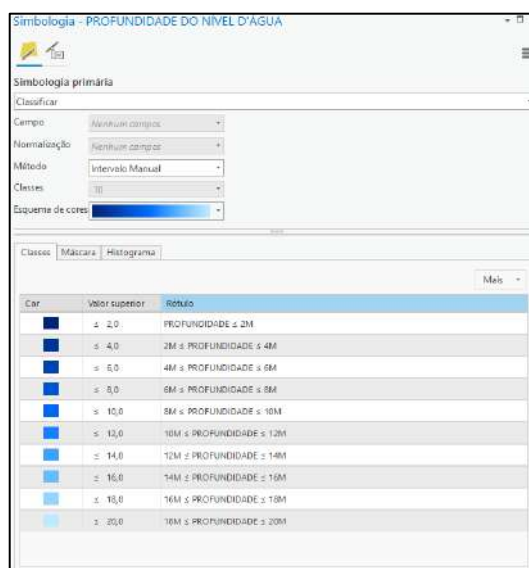
Figura 37 – Simbologia para carta da Profundidade do impenetrável



Fonte: Capturado pelo autor (2021).

Para a elaboração da carta da profundidade do impenetrável, os resultados advindos da interpolação foram catalogados em 8 classes com amplitude de 3 metros cada. Foi definido um esquema de cores com tonalidade amarela, laranja e vermelha, as quais indicam as profundidades do impenetrável na área de estudo. A profundidade máxima considerada na legenda criada foi 24 metros.

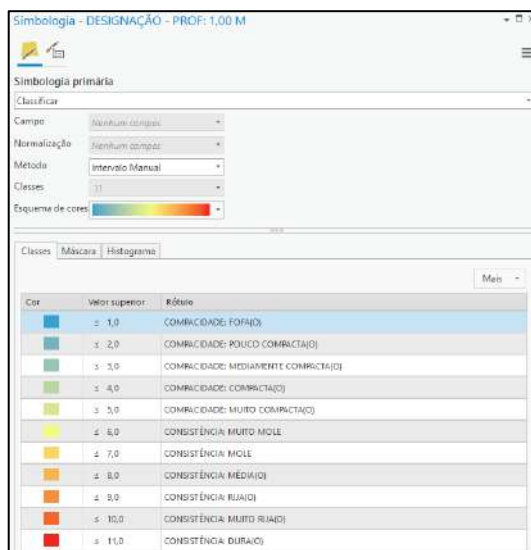
Figura 38 – Simbologia para carta da Profundidade do nível d'água



Fonte: Capturado pelo autor (2021).

Para a elaboração das cartas da profundidade do nível d'água para os períodos seco e úmido, os resultados advindos da interpolação foram catalogados em 10 classes com amplitude de 2 metros cada. Foi definido um esquema de cores com tonalidades de azul, as quais indicam as profundidades do nível d'água na área de estudo. A profundidade máxima considerada na legenda criada foi 20 metros.

Figura 39 – Simbologia para cartas da designação do solo



Fonte: Capturado pelo autor (2021).

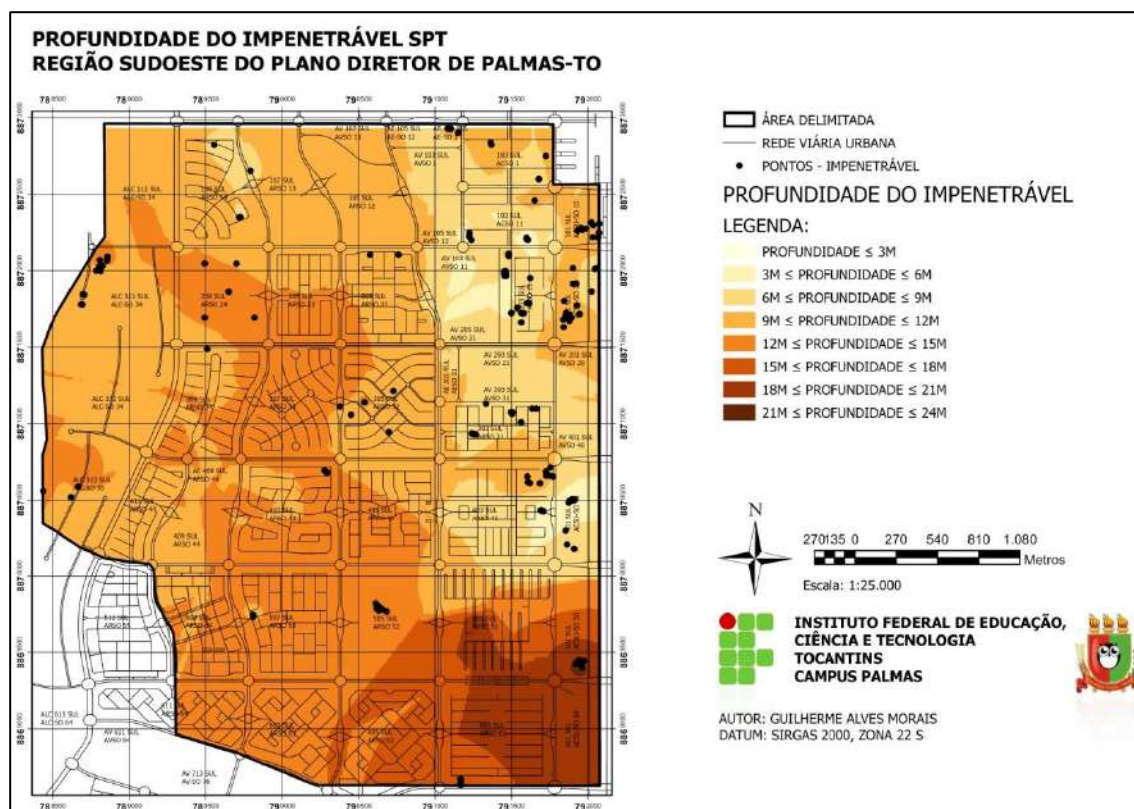
Por fim, para a elaboração das cartas da designação do solo das profundidades de 1 à 12 metros, os resultados advindos da interpolação foram catalogados em 11 classes com amplitude de 1 unidades cada. Foi definido um esquema de cores onde as cores de tonalidade azul à verde representam os atributos de compactação para areias e siltes arenosos (S) e as cores de amarelo à vermelho representam os atributos de consistência para argilas e siltes argilosos (C).

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nós próximos tópicos serão apresentados os resultados alcançados com o trabalho desenvolvido, o qual utilizou informações provenientes de laudos de sondagem SPT para criação de banco de dados compatível com SIG e elaboração de cartas geotécnicas que auxiliassem na análise do perfil geológico-geotécnico da área delimitada inserida na região sudoeste de Palmas-TO. As cartas elaboradas em ambiente SIG para esse estudo são: carta da profundidade do impenetrável, carta da profundidade do nível d'água para os períodos úmido e seco, e cartas do estado de compactidade e consistência do solo. Para a designação do solo, foram elaboradas 12 cartas referentes às profundidades de 1 a 12 metros.

7.1 Carta da profundidade do impenetrável

A carta da profundidade do impenetrável foi elaborada através da aplicação da técnica de krigagem em ambiente SIG sobre 174 dados de sondagem selecionados segundo os critérios estabelecidos pela NBR 6484 (2020). Os resultados dessa análise podem ser observados na figura 40 abaixo.

Figura 40 – Carta da profundidade do impenetrável⁸

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Observou-se na região ao sul da área delimitada, próximo a Avenida Teotônio Segurado, a maior profundidade de impenetrável, entre 18 e 24 metros. Sendo que, ainda próximo à Avenida Juscelino Kubitschec, indo para o sentido norte, a profundidade observada foi menor, até 9 metros. Com as profundidades do impenetrável observadas na carta da figura 40, podemos constatar que para construções de obras de grande carga estrutural, na área delimitada será necessário o uso de fundação do tipo profunda, pois para grande parte da área a resistência do solo se concentra em profundidades entre 9 e 18 metros.

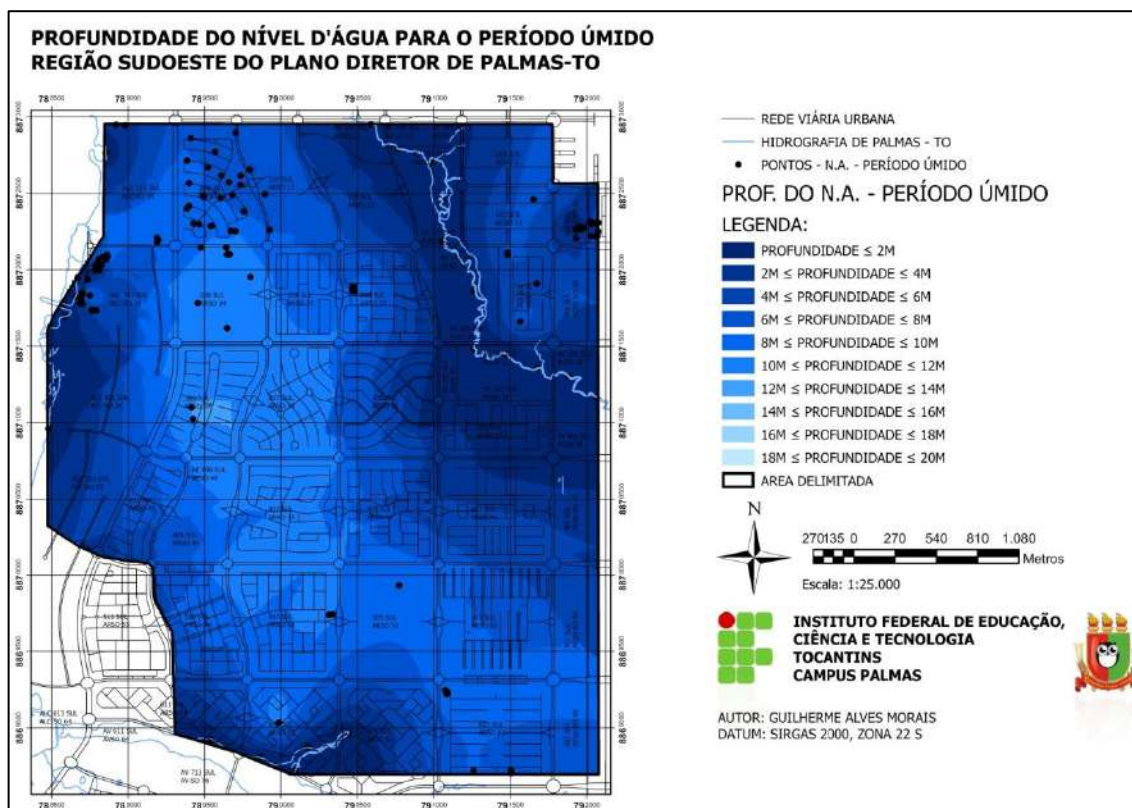
7.2 Cartas da profundidade do nível d'água para os períodos seco e úmido

Para a análise da profundidade do nível d'água considerando a sazonalidade do ano hidrológico na área estudada, foi elaborada uma carta para o período úmido, que começa em outubro e termina em abril, e uma carta para o período seco, que começa em maio e termina em setembro.

⁸ A carta da profundidade do impenetrável na escala mencionada está disponível no Apêndice A desse documento

A carta da profundidade do N.A. para o período úmido foi elaborada através da aplicação da técnica de krigagem em ambiente SIG sobre os 102 dados provenientes de ensaios de sondagem SPT somados aos pontos referentes aos elementos hidrográficos inseridos com valores de entrada igual à zero. Os resultados da análise para o período úmido podem ser observados na figura 41 abaixo.

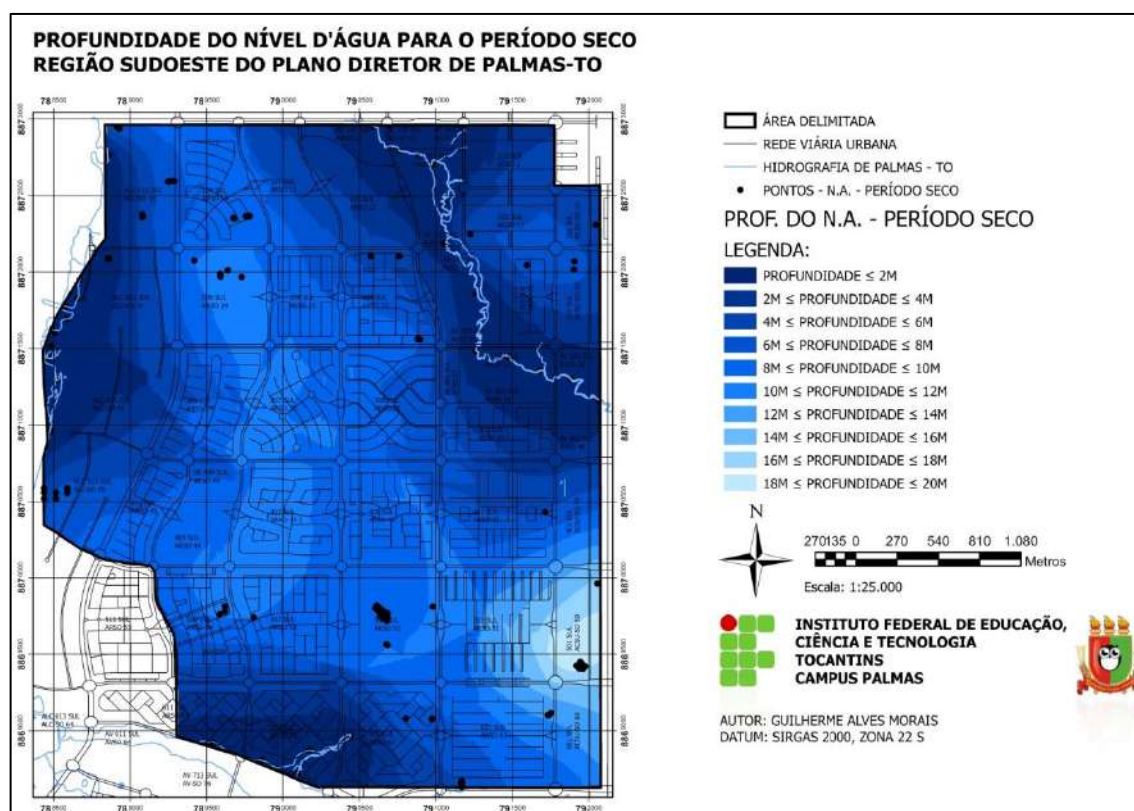
Figura 41 – Carta da profundidade do nível d’água para o período úmido⁹.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A carta da profundidade do N.A. para o período seco foi elaborada através da aplicação da técnica de krigagem em ambiente SIG sobre os 83 dados provenientes de ensaios de sondagem SPT somados aos pontos referentes aos elementos hidrográficos. Os resultados da análise para o período seco podem ser observados na figura 42 abaixo.

⁹ A carta da profundidade do nível d’água para o período úmido na escala mencionada está disponível no Apêndice A desse documento

Figura 42 – Carta da profundidade do nível d'água para o período seco¹⁰

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Foram observadas para as cartas da profundidade do nível d'água para os períodos úmido e seco, que nas proximidades dos ribeirões e córregos da cidade, a profundidade do nível d'água foi reduzida quando comparada aos resultados em pontos distantes dos mesmos. Para ambas as cartas, os valores de profundidade do N.A. mais distantes dos entorno dos ribeirões e córregos apresentaram profundidade predominante entre 6 e 12 metros, sendo que, de modo geral, as profundidades do N.A. para o período seco foram maiores. Para o período úmido, não foi observada profundidade do N.A. superior à 12 metros. Para o período seco, a região com a maior profundidade de nível d'água observado está nas proximidades das quadras 501 e 503 sul, com profundidade máxima de 20 metros.

As áreas que apresentaram profundidade do nível d'água com valores superiores a 6 metros são mais propícias para execução de fundações diretas sem preocupação com o nível do lençol freático, no caso de construções de pequeno porte. Para obras maiores, nas mesmas áreas, torna-se necessário se atentar a presença da água, que pode interferir no tipo de fundação indireta a ser escolhida. Nas regiões com profundidade do nível d'água de até 4 metros de profundidade, próximas aos elementos hidrográficos, torna-se necessário um

¹⁰ A carta da profundidade do nível do d'água para o período seco na escala mencionada está disponível no Apêndice A desse documento

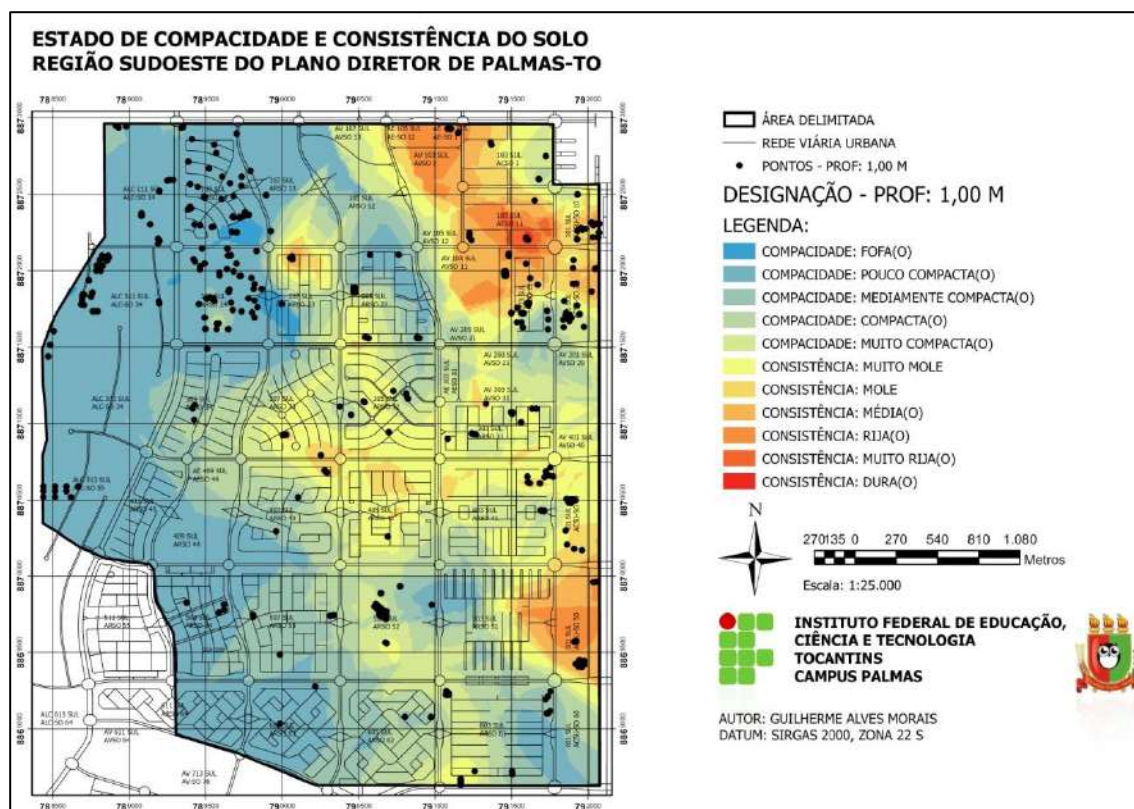
cuidado redobrado na execução de fundações diretas e serviços de escavação, uma vez que a depender da sazonalidade das precipitações, pode ser necessário realizar rebaixamento do lençol freático para execução dos serviços.

Ressalta-se que o presente estudo não substitui as investigações de campo exigidas pela NBR 8036 (1983) e não deve ser usado para obtenção de parâmetros para projeto, tendo o mesmo caráter orientativo.

7.3 Cartas do estado de compacidade e consistência do solo

As cartas do estado de compacidade e consistência do solo foram desenvolvidas iniciando-se à 1 metro (figura 43) e terminando à 12 metros de profundidade, com uso dos dados dos valores do índice de resistência à penetração e descrição do solo para desenvolvimento de seu atributo, obtidos através dos laudos de sondagem, conforme descrito nos procedimentos metodológicos. As cartas foram elaboradas através da aplicação da técnica de krigagem em ambiente SIG sobre os dados de sondagem considerados a cada metro, segundo os critérios estabelecidos pela NBR 6484 (2020), conforme as figuras a seguir.

Figura 43 – Carta do estado de compactidade e consistência do solo¹¹: 1 metro de profundidade

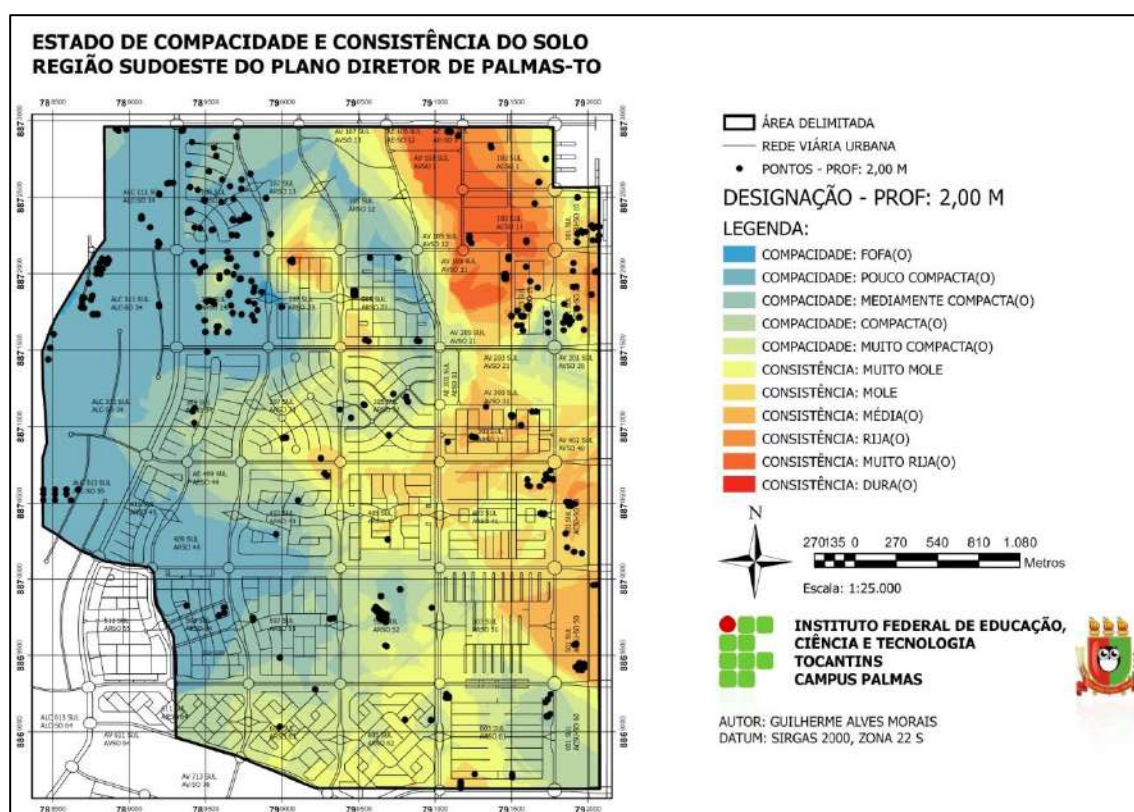


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

É possível observar com a apresentação das cartas do estado de compactidade e consistência o comportamento do índice de resistência à penetração, bem como a predominância dos tipos de solo a cada metro estudado, uma vez que as cores de tonalidade azul à verde representam os atributos de compactidade para areias e siltes arenosos (S) e as cores de amarelo à vermelho representam os atributos de consistência para argilas e siltes argilosos (C). Para as 12 cartas elaboradas, houve uma predominância de areias e siltes arenosos na área estudada. Sendo que, no primeiro metro estudado (figura 43) foram observadas argilas e siltes argilosos em porções do centro e da região leste da área estudada.

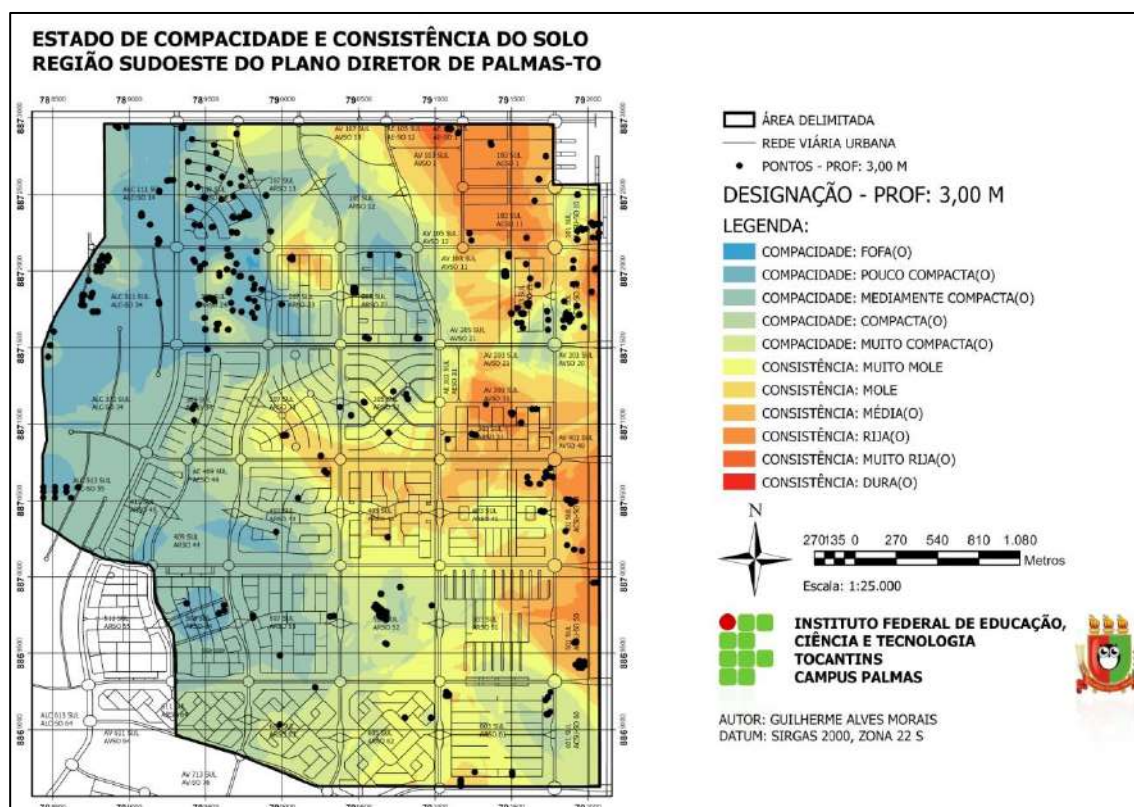
¹¹ As cartas do estado de compactidade e consistência do solo para as profundidades de 1 a 12 metros na escala mencionada estão disponíveis no Apêndice A desse documento

Figura 44 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 2 metros de profundidade



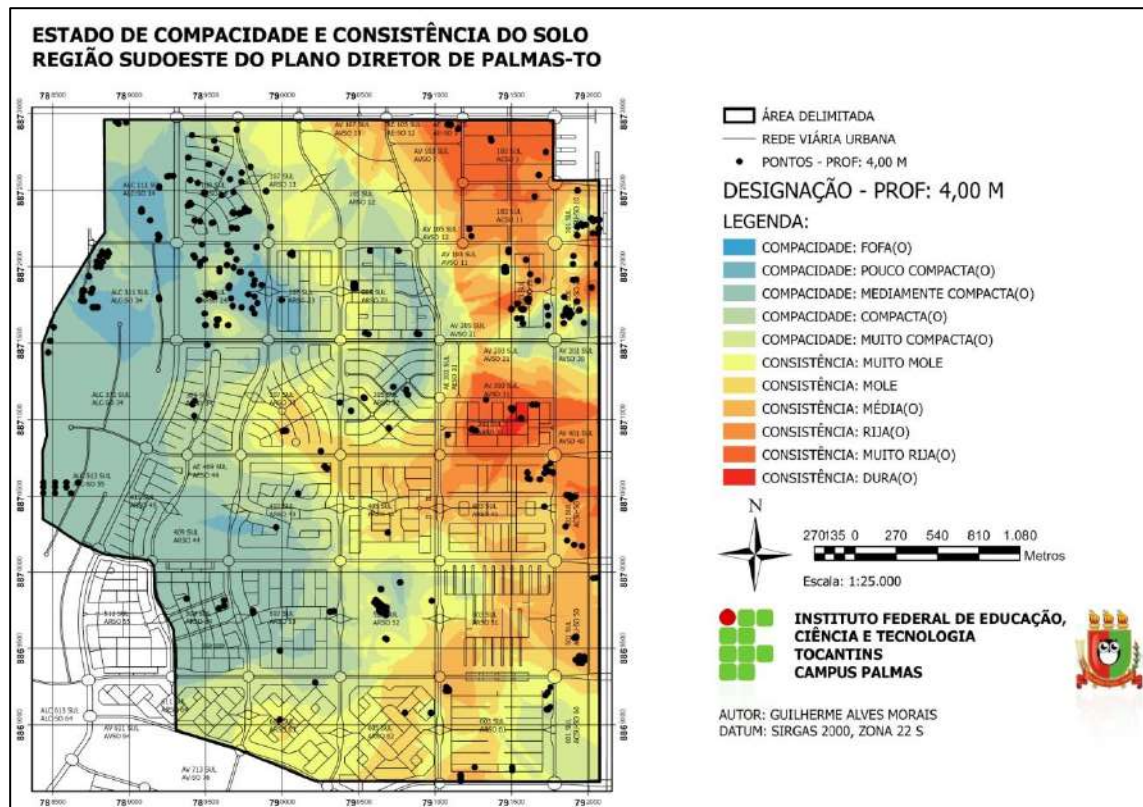
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 45 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 3 metros de profundidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

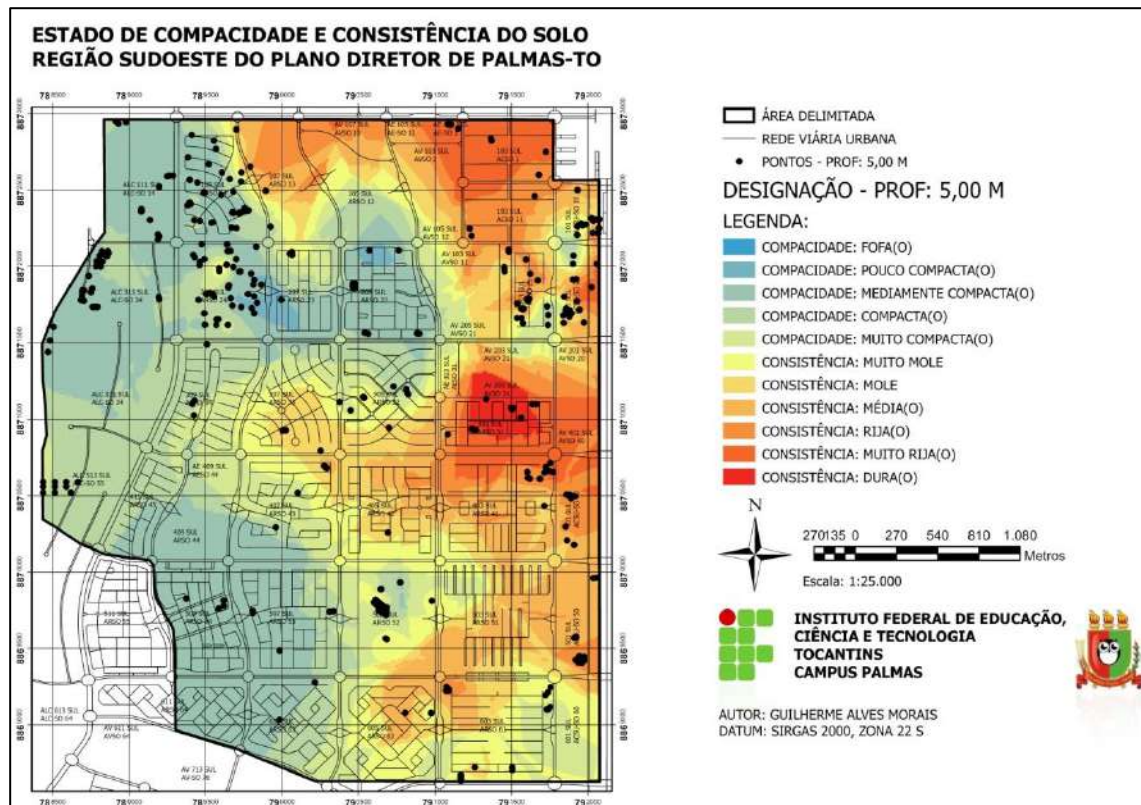
Figura 46 – Carta do estado de compactidade e consistência do solo: 4 metros de profundidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

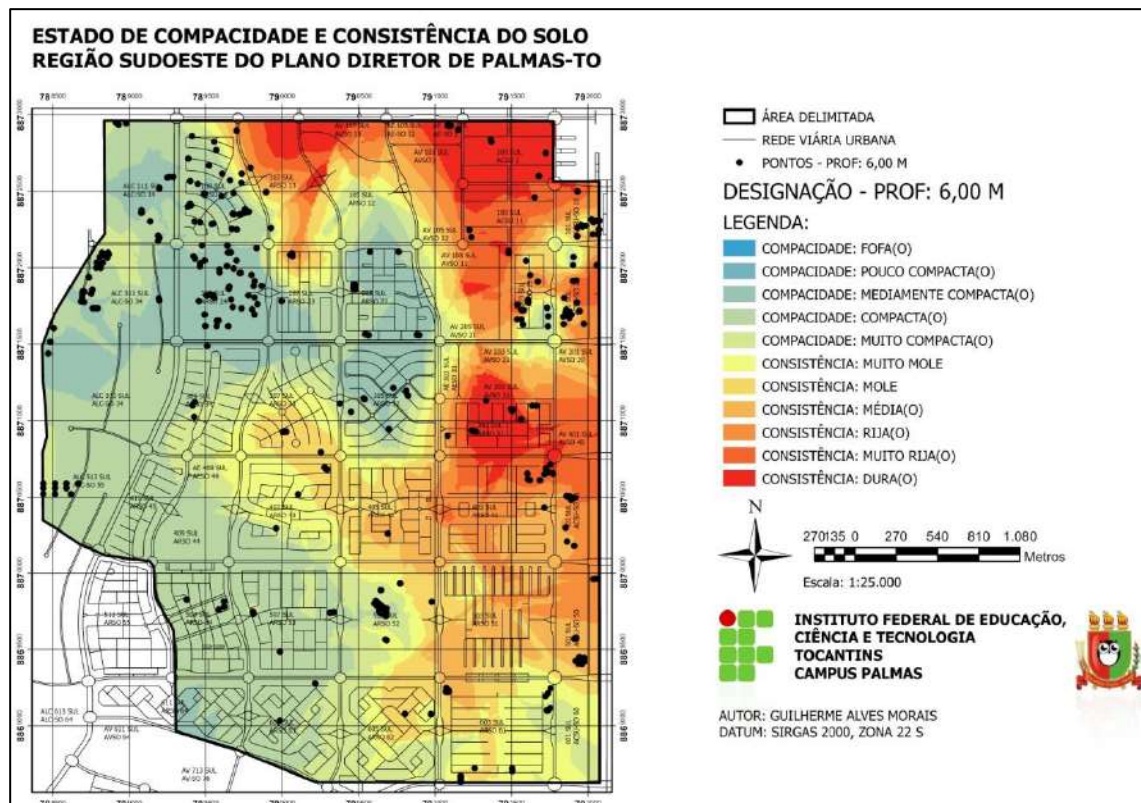
Nos três próximos metros (figuras 44, 45 e 46), observou-se uma evolução das argilas e siltes argilosos na região sul, entre as quadras 603, 605 e 607 sul.

Figura 47 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 5 metros de profundidade



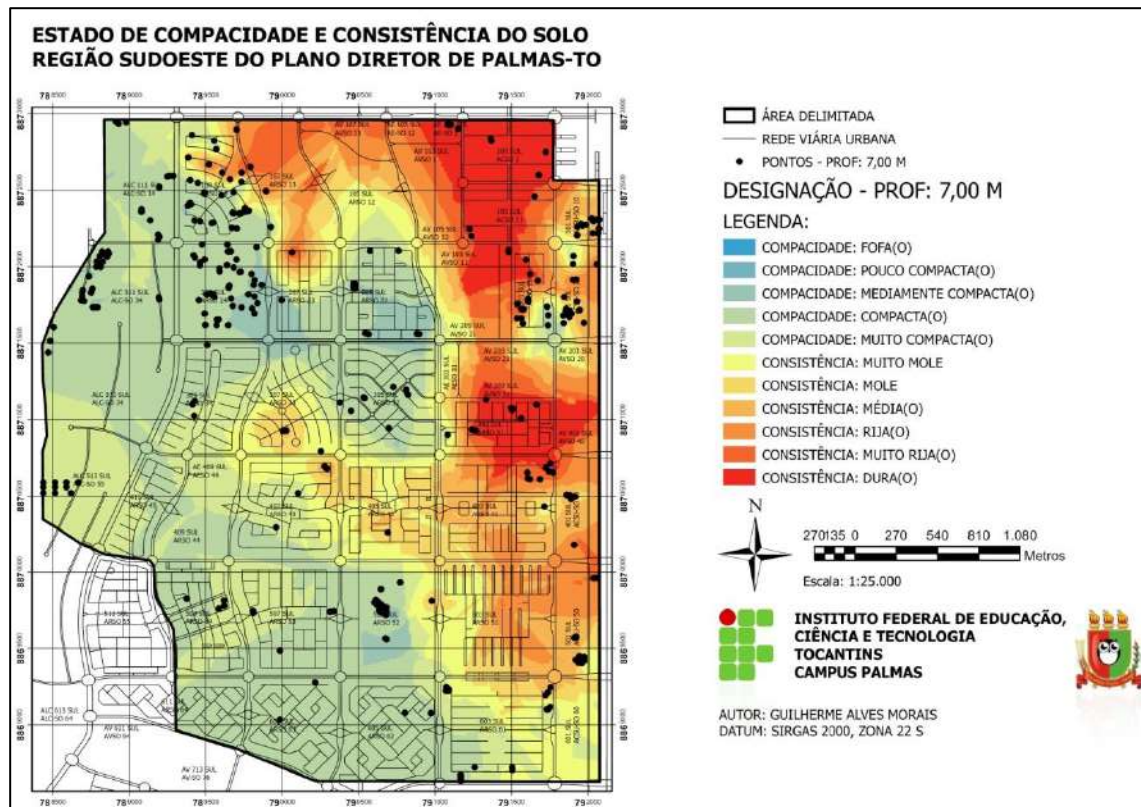
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 48 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 6 metros de profundidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

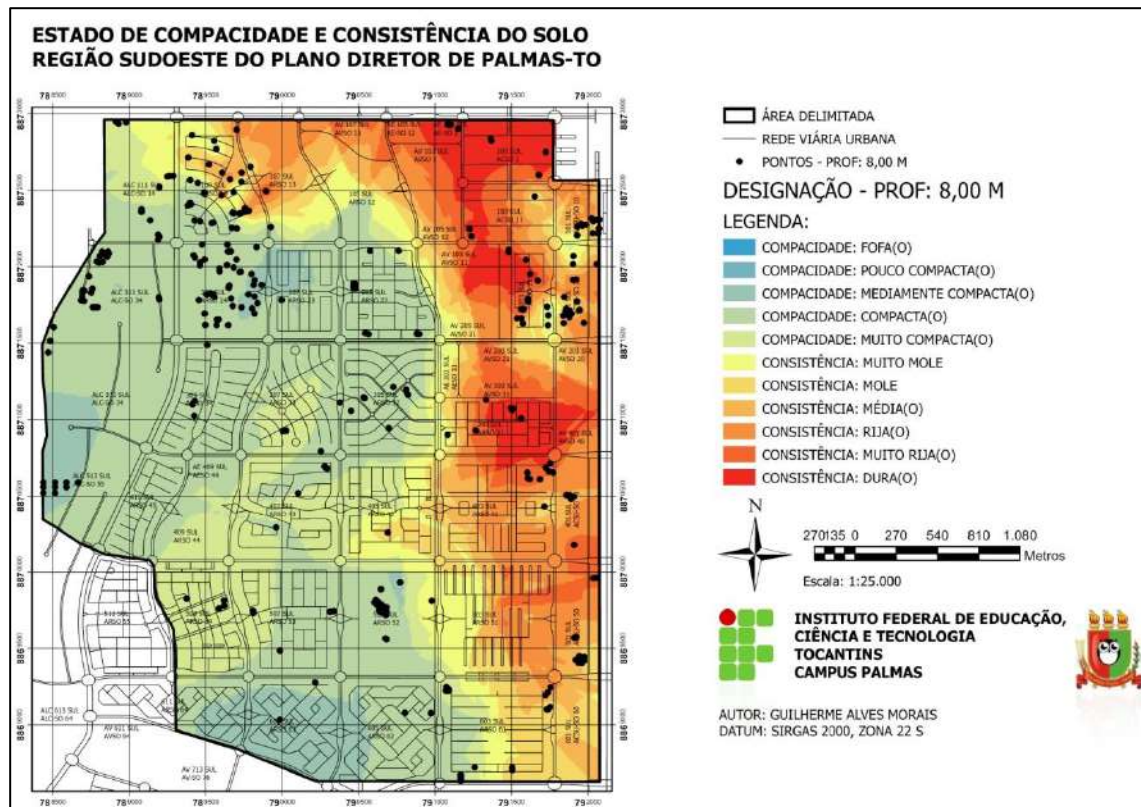
Figura 49 – Carta do estado de compactidade e consistência do solo: 7 metros de profundidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

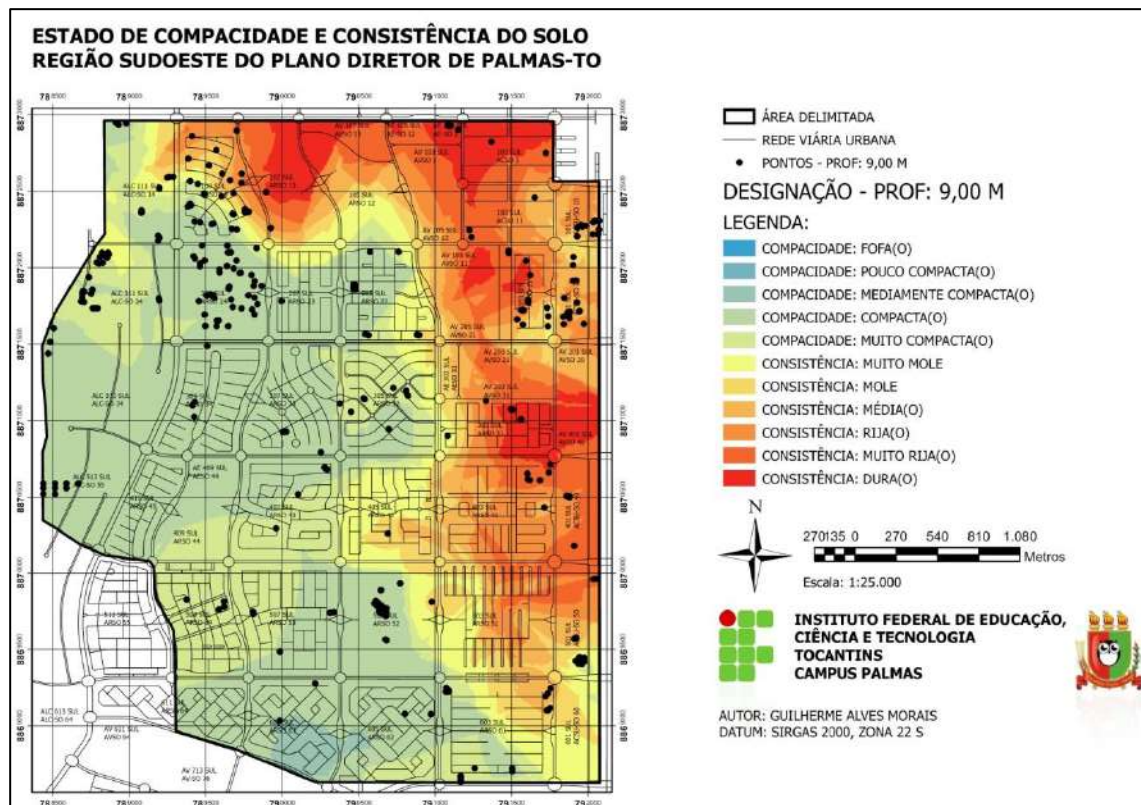
Nas cartas para 5, 6 e 7 metros (figuras 47, 48 e 49) observou-se uma expansão da presença de argilas e siltes argilosos da região nordeste para a região noroeste, havendo uma redução de sua presença na região sudeste da área delimitada.

Figura 50 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 8 metros de profundidade



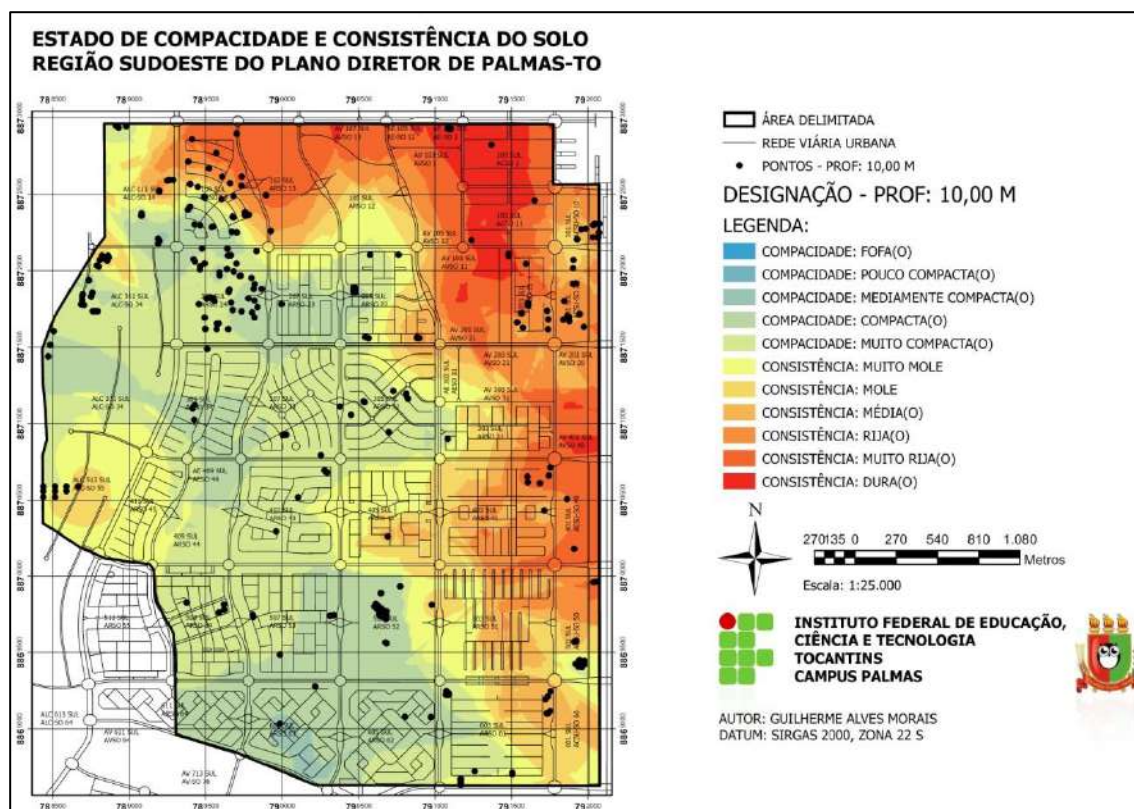
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 51 – Carta do estado de compacidade e consistência do solo: 9 metros de profundidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

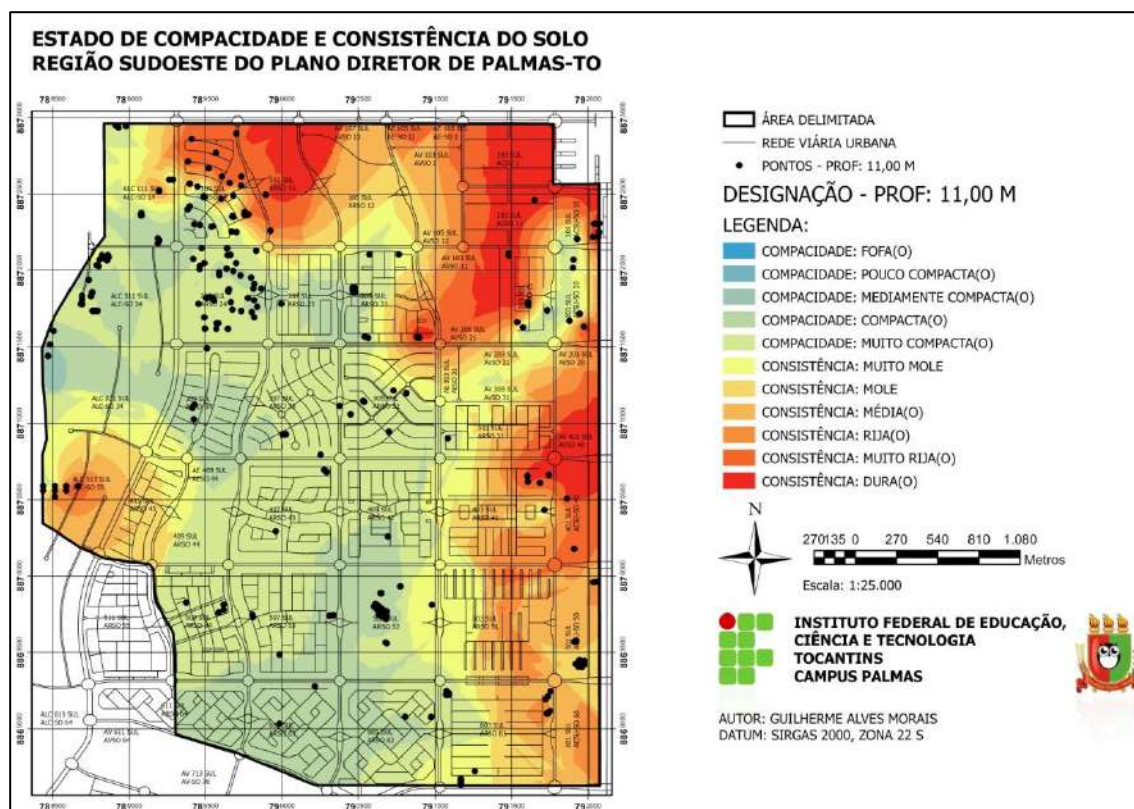
Figura 52 – Carta do estado de compactidade e consistência do solo: 10 metros de profundidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

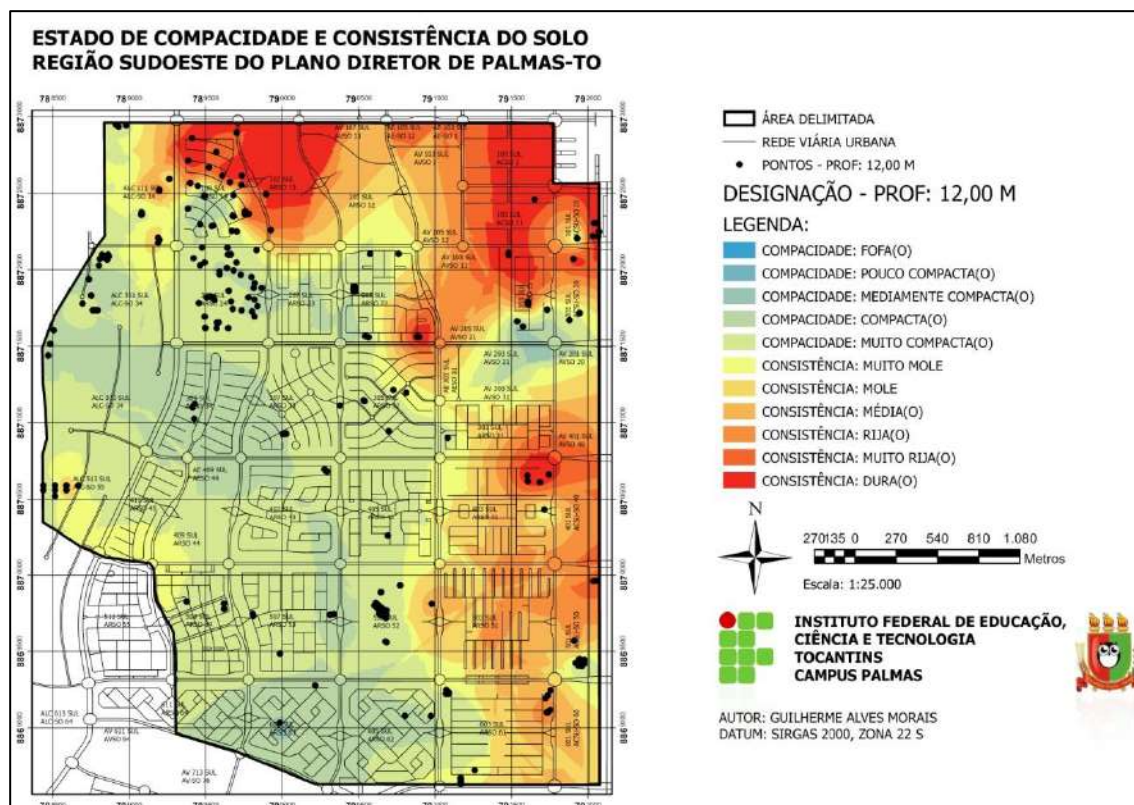
Para as profundidades de 8, 9 e 10 metros (figuras 50, 51 e 52), as áreas com presença de argilas e siltes argilosos estavam concentradas ao sul (nas proximidades da Avenida Juscelino Kubitschec) e ao oeste (nas proximidades da Avenida Teotônio Segurado), estando ausentes na região central da área delimitada nessas profundidades.

Figura 53 – Carta do estado de compactidade e consistência do solo: 11 metros de profundidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 54 – Carta do estado de compactidade e consistência do solo: 12 metros de profundidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

No décimo primeiro metro (figura 53), observou-se um acréscimo de área com observação de argilas e siltes argilosos na região sudoeste da área delimitada (nas quadras 411 e 513 sul) e um acréscimo de área com observação de areias e siltes arenosos na região nordeste (nas quadras 201 e 203 sul). Na profundidade de 12 metros (figura 54), não foram mais observadas argilas e siltes argilosos na região sudoeste. Na última profundidade estudada, manteve-se a observação de areias e siltes arenosos na região nordeste da área delimitada.

De modo geral, constatou-se que na medida em que a profundidade aumentou os solos com menores índices de resistência à penetração para areias e siltes arenosos, bem como para argilas e siltes argilosos, diminuíram. Nos primeiros metros do estudo, as cartas apresentavam cores predominantes para areias e siltes arenosos entre azul escuro e azul claro, sendo que para argilas e siltes argilosos a coloração predominate observada foi amarelo e laranja claro, que correspondem aos menores valores de N_{SPT} . Conforme a profundidade aumentou, foi possível observar um acréscimo de apresentação das cores verde e verde claro para areias e siltes arenosos, bem como da coloração laranja e vermelho para argilas e siltes argilosos, o que evidencia que os valores mais altos para o índice de resistência à penetração estão concentrados nas camadas mais profundas do estudo.

É importante destacar que as cartas apresentadas nesse capítulo servem como diretrizes para realizar uma estimativa prévia do solo que tende a ser encontrado em determinado local da região estudada, podendo auxiliar na análise dos resultados de sondagens SPT a serem contratadas futuramente, assim como na escolha de fundações. Apesar disso, o presente estudo não substitui a necessidade de investigações geotécnicas pontuais.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho realizou a criação de um banco de dados geológico-geotécnico por meio de informações provenientes de laudos de sondagem SPT da área delimitada, inserida na região sudoeste do plano diretor de Palmas. Esse banco de dados possibilitou a espacialização dos dados pontuais em ambiente SIG.

O uso do banco de dados elaborado nesse trabalho possui um grande potencial para auxílio na análise do perfil geológico-geotécnico através da elaboração da carta do impenetrável ao SPT, carta do nível d'água para os períodos seco e úmido, e cartas do estado de compacidade e consistência do solo para as profundidades de 1 a 12 metros. A elaboração das cartas mencionadas foi feita mediante processamento dos dados SPT associados a métodos de interpolação disponíveis na literatura. Nesse contexto, o *software* de SIG *ArcGis* se mostrou imprescindível, visto que sua interface permitiu a realização das operações de georreferenciamento, bem como a aplicação da modelagem geoestatística para a realização das interpolações de maneira prática e eficiente, o que possibilitou a geração das cartas apresentadas no trabalho. A ferramenta de interpolação utilizada foi a Krigagem Bayesiana Empírica.

O estudo em questão utilizou 392 dados adequados para as análises em uma área delimitada de 13,77 Km², portanto sua densidade de dados é de 28,47 dados/Km². Apesar da grande quantidade de dados para essa região, o mapeamento foi inviabilizado nas quadras 511 sul, 613 sul e parte da quadra 611 sul. Devido à inexistente quantidade de pontos ensaiados nessas quadras, foi inviabilizada a interpolação nessa região, fato que impactaria pontualmente na redução da qualidade das cartas geradas para essa parte da região sudoeste. Dessa forma, optou-se pela exclusão dessas quadras no estudo.

Por conta da quantidade de dados disponibilizados, obteve-se um bom desempenho do interpolador para as cartas elaboradas na área que foi investigada nesse trabalho. Dessa forma, algumas informações foram constatadas:

- Através da carta da profundidade do impenetrável, observou-se a predominância de profundidades entre 9 e 18 metros, portanto, para construções de obras de grande carga estrutural, na área delimitada inserida na região Sudoeste do Plano diretor de Palmas, será necessário o uso de fundação do tipo profunda;
- Através das cartas da profundidade do nível d'água para os períodos úmido e seco, foi observada a predominância de profundidade do N.A. entre 6 e 12 metros para as

regiões mais distantes do entorno dos ribeirões e córregos. Essas regiões são mais propícias para execução de fundações diretas sem preocupação com o nível do lençol freático, no caso de construções de pequeno porte. Para obras maiores, torna-se necessário se atentar a presença da água, que pode interferir no tipo de fundação indireta a ser escolhida. Para as regiões próximas aos elementos hidrográficos, com profundidades mais próximas de zero, é preciso um cuidado redobrado na execução de fundações diretas e serviços de escavação;

- Através das cartas do estado de compacidade e consistência do solo, observaram-se, para as 12 cartas elaboradas, uma predominância de areias e siltes arenosos na área estudada. Além do mais, na medida em que a profundidade aumenta os solos com menores índices de resistência à penetração para areias e siltes arenosos, bem como para argilas e siltes argilosos diminuem, implicando que os valores mais altos de N_{SPT} estão concentrados nas camadas mais profundas do estudo;

Os resultados desse estudo têm a finalidade de fornecer subsídios técnicos de apoio à tomada de decisão para elaboração de trabalhos de engenharia, bem como para planejamento territorial da área estudada, através do desenvolvimento de um banco de dados que permite conhecer geograficamente parâmetros importantes, bem como características do solo provenientes do ensaio SPT. É importante destacar que a necessidade de sondagens no terreno não deve ser descartada, de modo que as cartas produzidas neste estudo possuem caráter orientativo acerca das características do subsolo da área delimitada e, portanto, não substituem a necessidade de investigações geotécnicas pontuais para obtenção de dados necessários para o dimensionamento de elementos estruturais.

Na prática, os resultados desse estudo podem auxiliar na investigação do perfil geológico-geotécnico da área estudada, de modo a auxiliar no planejamento de futuras construções quanto ao tipo de fundação, assim como na análise preliminar de investimentos, haja vista a possibilidade de se prever a profundidade das sondagens, profundidade do nível d'água e tipo de solo encontrado em determinado ponto. Sendo assim, o trabalho em questão contribui na fundamentação de ações de planejamento e gestão do uso do solo e instalação de empreendimentos na área delimitada.

Por conta das limitações do estudo em questão, sugere-se para estudos futuros:

- Realização de mais estudos geotécnicos ao longo de todo plano diretor do município de Palmas, considerando mais ensaios de sondagem de modo a expandir a aplicação desse estudo;

- Modelagem do terreno em três dimensões para melhor visualização e detecção de possíveis falhas;

Por fim, destaca-se que a contínua atualização do banco de dados geológico-geoécnicos, juntamente com a inserção de novas informações está diretamente ligada com o aumento da precisão dos resultados obtidos e fomento de pesquisas. Nesse sentido, recomenda-se o incremento desse estudo com novos dados para estudos futuros no município de Palmas.

REFERÊNCIAS

ABREU, Ana Elisa Silva de. **Mapeamento Geotécnico para Gestão Municipal – Abordagem combinando três métodos distintos e sua aplicação em Analândia (SP)**. 2007. 217 f. Tese (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2007.

ALLESSI, C. C. **Análise estatística e geoestatística da distribuição de CO₂, CH₄, Rn e microbiota em um campo petrolífero do recôncavo baiano (BA)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011. 218p. Disponível em: <http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/18300/18300_1.PDF>. Acesso em: 13 jan. 2021.

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Exercícios de Fundações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983.

ALVES, Paola Cristina. **Cartografia geotécnica para obras subterrâneas: condições de construções de garagens subterrâneas e metrô no plano piloto de Brasília**. 2009. 185 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília. 2009.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. Editora Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos. Coleção Manual Universitário – ISBN 85-7431-171-5, Segunda Reimpressão, São Leopoldo - RS, 165p, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**, Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, set. 2019.

_____. **NBR 6484**, Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, out. 2020.

_____. **NBR 8036**, Programação de sondagens de simples reconhecimento de solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro, jun. 1983.

BARROS, M. A. **Sistemas de Informações Geográficas**. In: Curso de Especialização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas. Módulo 7; ABEAS – Associação Brasileira de Educação Agrária; DEG/CCT/UFPB, Campina Grande – PB, 1998.

BITAR, Omar Yazbek; FREITAS, Carlos Geraldo Luz de; MACEDO, Eduardo Soares de. **Guia cartas geotécnicas: orientações básicas aos municípios**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2015.

BORGES, M.V.; SOUZA, N.M.; SILVA JUNIOR, E.E.A. **Relação Da Escala De Trabalho Das Cartas Geotécnicas Versus Área De Influencia Das Sondagens E Variabilidade Do Atributo**. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 15, Bento Gonçalves, 2015.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996.

CARVALHO, Tatiane Robaina Rangel de. **Suscetibilidade a processos geodinâmicos e aptidão à urbanização na bacia do rio Maracujá, Ouro Preto, MG**. 2014. 142 f. Tese (Mestrado em Geotecnia) – Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2014.

CASTRO, Bruno Carrilho de; et al. **Perfis geotécnicos da cidade de Palmas - TO por meio de sondagens SPT e ensaios geofísicos**, in: ABMS, [s.l.: s.n.], 2016.

CASTRO, Bruno Carrilho de. **USO DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA EM INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA: O CASO DE PALMAS-TO**. 2018. 270 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Df, 2018.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. (2003). **Tensão Admissível em Fundações Diretas**. 1 ed. São Carlos, 2003. 135 p.

DAS, Braja M.. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 6. ed. São Paulo: Thomson, 2007.

DATE, C. J. **Uma introdução a Sistemas de Banco de Dados**. 8. ed. São Paulo: Campus, 2004.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: Embrapa, 2004. ISBN: 85-7383-260-6.

ERIG, Geruza Aline; NASCIMENTO, Maria Elenita Menezes. A HOSPITALIDADE E SEUS FATORES DE COMPETITIVIDADE EM AGÊNCIAS DE VIAGENS DE PALMAS – TO. **Turismo, Lazer e Negócios**, p. 12–27, 2019. Disponível em: <<https://www.atenaeditora.com.br/post-artigo/15043>>. Acesso em: 13 Nov. 2020.

FOLLE, Daiane. **O ESTUDO GEOESTATÍSTICO DE SONDAGENS SPT PARA GERAÇÃO DE MAPAS AUXILIARES EM OBRAS DE ENGENHARIA**. 2002. 199 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FONSECA, E. L. et al. **USO DO INTERPOLADOR KRIGAGEM ORDINÁRIA PARA A ESPACIALIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS**. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO ARACAJU/SE, 1., 2002, Aracaju/se. Anais [...] ., 2002.

FONTELES, Helano Regis da Nóbrega. Geoestatística aplicada ao mapeamento da superfície impenetrável ao SPT: o caso da porção nordeste de Fortaleza/CE, Nordeste do Brasil. **Revista de Geologia**, Fortaleza, vol. 27, n. 1, p. 39-52, 2014.

FRANCO, Gustavo B, et al. Cartografia Geotécnica: estágio atual do conhecimento. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 35, p. 158-172, 2010. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16134>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

GARCIA, Andressa Faquinel. **CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA PARA A CIDADE DE PALMAS/TO**: determinação das cotas de impenetrável e nível freático por meio de sondagem spt. 2017. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2017.

HACHICH, Waldemar; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. **FUNDAÇÕES: Teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Cidades [online]. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/panorama>>. Acesso em: 05 nov. 2020.

INPE - Instituto nacional de pesquisas espaciais. **Introdução à ciência da geoinformação**. Julio Cesar Lima D'Alge. INPE, São José dos Campos, 2001. Disponível em: < <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.14.47/doc/cap6-cartografia.pdf> >. Acesso em: 28 mar. 2021.

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO URBANO - IPUP (Prefeitura Municipal de Palmas, TO). **Mapa esquemático de Palmas**. Palmas, 2015. Disponível em: <<http://geo.palmas.to.gov.br/>>. Acesso em: 19 mar. 2021.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. **O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas**. In: XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais (ABEP). Caxambu, 2006. Disponível em: < <http://www.nepo.unicamp.br/vulnerabilidade/admin/uploads/producoes/M%C3%A9todosdeInterpola%C3%A7%C3%A3o.PDF> > Acesso em: 29 mar. 2021.

LANDIM, P.M.B & STURARO, J.R. **Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Geomatemática, Texto Didático 6, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, 2002. Disponível em <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>. Acesso em: 12 jan.2021.

LANDIM, P.M.B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Lab. Geomatemática, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 2000.

LONGLEY, P. A. GOODCHILD, M. F. MAGUIRE, D. J. RHIND D. W. **New Developments in Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications**. 24 p. Disponível em: <https://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/files/pref.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2021.

MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; GOULARTE, Elvis Richard Pires. **Caracterização do Ano Hidrológico e Mapeamento Espacial das Chuvas nos Períodos Úmido e Seco do Estado do Tocantins**. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 06, n. 01, p. 91-99, 15 maio 2013. Bimestral.

MARTINS, João Paulo Coelho. **Caracterização geotécnica dos principais perfis de Palmas e apresentação de soluções de fundação, com vistas ao planejamento urbano**. 2014. 75 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2014.

PALMAS. Lei Complementar nº 400, de 2 de abril de 2018. **Plano Diretor Participativo do Município de Palmas-TO**. Disponível em: <<http://diariooficial.palmas.to.gov.br/media/diario/1969-suplemento-1-2-4-2018-22-7-46.pdf>>. Acesso em: 13 Nov. 2020.

RUVER, C. A.; CONSOLI, N. C. **Estimativa do módulo de elasticidade em solos residuais através de resultados de sondagens SPT**. In: CONGR. BRASILEIRO MEC. DOS SOLOS E ENG. GEOTÉCNICA, 13., 2006, Curitiba. Anais... São Paulo: ABMS, 2006. p. 601-606.

SANTOS, Juliana Vieira dos. **APLICAÇÃO DE SIG PARA ANÁLISE DO PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DO CAMPUS SEDE DA UFSC E ELABORAÇÃO DE CARTAS DE APTIDÃO PARA FUNDAÇÕES UTILIZANDO SONDAGEM SPT**. 2016. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2016.

SANTOS, Lindomar Ferreira dos. **Cartografia Geotécnica do Município de Palmas/TO: Área a oeste do meridiano 48° W.** Gr. 2000. 176 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília. 2000.

SCHNAID, Fernando; ODEBRECHT, Edgar. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SILVA, C. P. L. **Cartografia Geotécnica Tridimensional do Setor Noroeste de Brasília.** Tese de Doutorado, Publicação G.TD – 072/2011, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 265 p, 2011.

SILVA, Daniel Firmino da. **Maapeamento geoestatístico dos parâmetros N_{SPT} e torque máximo de dolos em parte da bacia do ribeirão Cambezinho em Londrina/PR.** 2008. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2008.

SILVA, Sandra Fernandes da. **ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL COM AUXÍLIO DE LÓGICA FUZZY E PROPOSTA DE UM GEOINDICADOR PARA CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DA BACIA DO RIO DO PEIXE.** 2005. 388 f. Tese (Doutorado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SOARES, Wanessa Cartaxo. **BANCO DE DADOS GEOLÓGICO – GEOTÉCNICOS COM BASE EM SONDAGENS À PERCUSSÃO E USO DE SIG: ANÁLISE ESPACIAL DA PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO E DO N_{SPT} PARA OBRAS DE FUNDAÇÃO EM JOÃO PESSOA.** 2011. 215 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

TALAMINI NETO, Edmundo. **Caracterização geotécnica do subsolo de Curitiba para o planejamento de ocupação do espalho subterrâneo.** 2001. 223 f. Dissertação (Mestrado em

Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001.

TEIXEIRA, A. H. **Projeto e execução de Fundações**. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, 3°. São Paulo, v. 1, 1996. p. 33-50.

THIESEN, Stephanie. **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. 2016. 207 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2016.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações**: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

VIEIRA, C. F. C. et al.: **Caracterização geológico-geotécnica das encostas urbanas do município de Salvador**. In: COBRAE - CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 4., 2005, Salvador. Anais [...] . Salvador: Cobrae, 2005. p. 153-164.

WANG, X. J.; LIU, R. M. Spatial Analysis and Eutrophication Assessment for Chlorophyll a in Taihu Lake. In: **Environmental Monitoring and Assessment**, vol. 101, issue 1, p.167–174. Kluwer Academic Publishers, 2005. ISSN: 0167-6369 (print). ISSN: 1573-2959 (online).

YAMAMOTO, J.K., LANDIM, P.M.B. **Geoestatística**: Conceitos e Aplicações. São Paulo: Oficina de Textos, 215p, 2013.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. Algumas reflexões sobre o mapeamento geotécnico. **Anu. Inst. Geocienc**, vol.15, 1992. p. 181-184. ISSN 0101-9759. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/1524/1413>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

ANEXO A

**AUTORIZAÇÃO**

A empresa Técnica Engenharia Ltda. inscrita no CNPJ sob o nº 05.283.511/0001-81 localizada no endereço: QD. 112 Sul, Rua SR 03, Lt. 39 autoriza o senhor GUILHERME ALVES MORAIS, estudante regularmente matriculado sob o nº 2015101009039-8 no 10º período do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, portador do CPF nº 054.208.771-55 a utilizar os laudos de sondagem SPT realizados no período compreendido entre os anos de 2003 e 2020 executadas pela empresa, disponíveis em arquivo digitais.

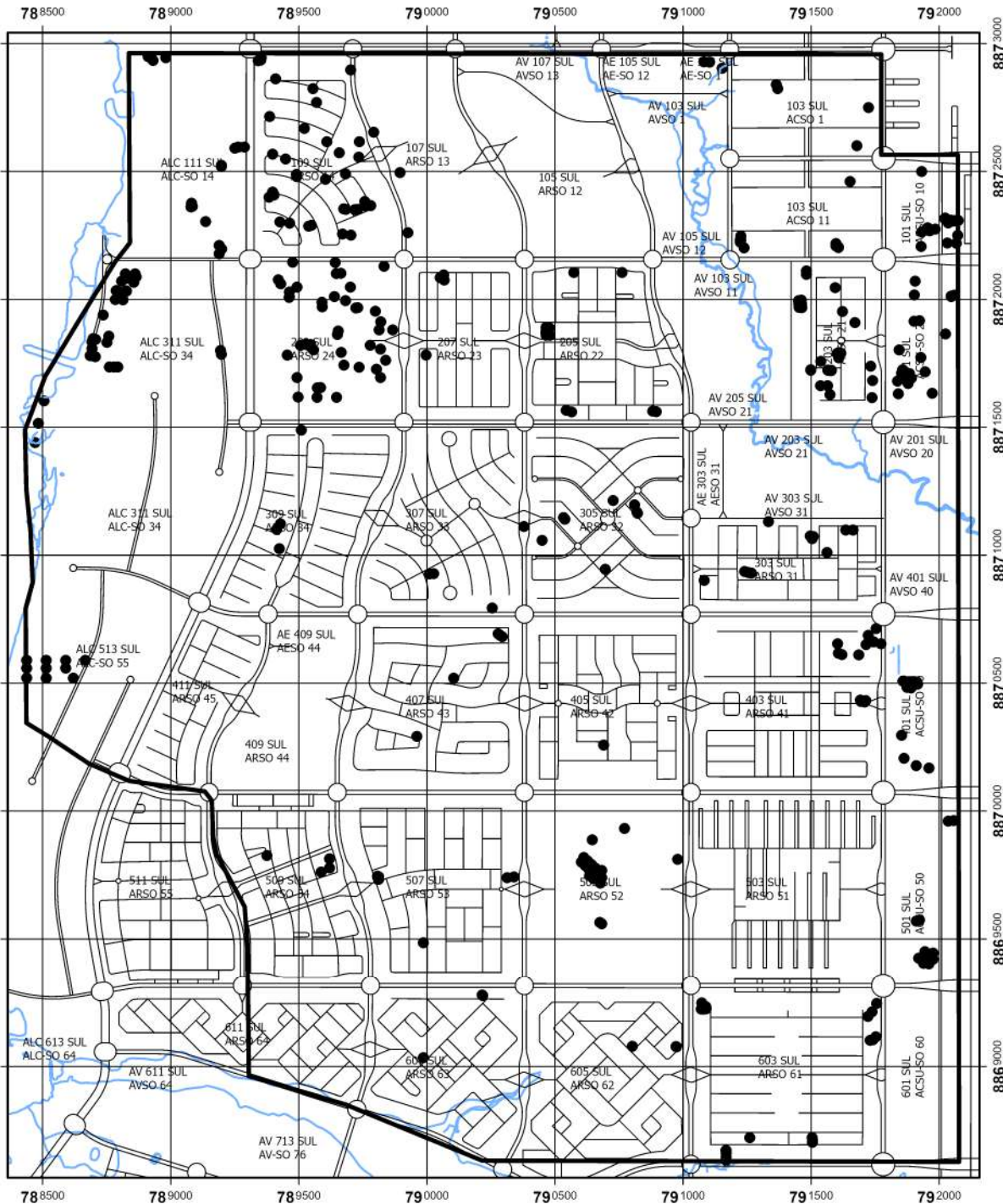
Palmas - TO, 01 de agosto de 2020.

Técnica Engenharia Ltda.
Edvaldo José Cordeiro
Sócio Administrador

Edvaldo José Cordeiro
Técnica Engenharia Ltda.
CREA-TO 01/2020

APÊNDICE A

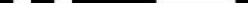
LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE SONDAGEM ESTUDADOS REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



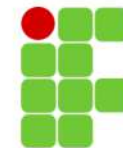
-  ÁREA DELIMITADA
 REDE VIÁRIA URBANA
 PONTOS - SONDAGEM SPT
 HIDROGRAFIA DE PALMAS - TO



270135 0 270 540 810 1.080

 Metros

Escala: 1:25.000

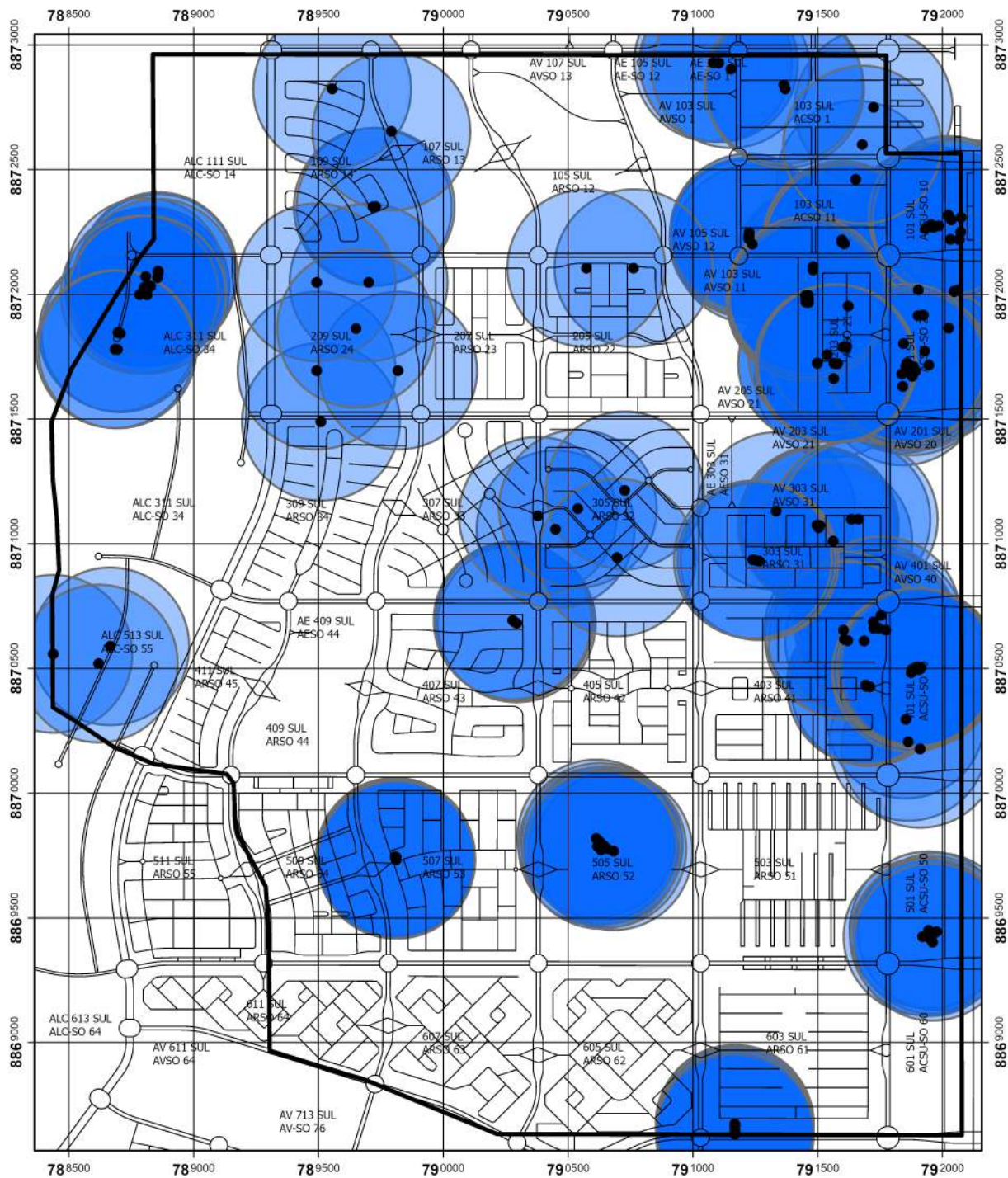


**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS
DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL PARA AS SONDAGENS ESTUDADAS REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



-  ÁREA DELIMITADA
 REDE VIÁRIA URBANA
 PONTOS - IMPENETRÁVEL
 BUFFER - 316 METROS

Tabela 1 – Densidade de amostragem no mapeamento geotécnico

Finalidade do mapeamen to geotécnico	Escala	Atributos					
		Qualitativos				Quantitativos	
		Metamórficas e Ígneas		Sedimentares		Geral	
		Observações /km²	Distância entre os pontos observados (m)	Observações /km²	Distância entre os pontos observados (m)	Observações /km²	Distância entre os pontos observados (m)
Básico	1:250.000	1/10	3162	1/10	3162	1/10	3162
	1:100.000	4/10	1581	3/10	1826	2/10	2236
	1:50.000	6/5	913	1/1	1000	3/10	1826
	1:25.000	3/1	577	2/1	707	1/1*	1000
Detalhe	1:25.000	5/1	447	4/1	500	4/1*	500
	1:10.000	15/1	258	15/1	258	10/1	316
	1:5.000	25/1	200	20/1	224	15/1	258
	1:2.000	40/1	158	35/1	169	25/1	200

* Valores alterados conforme contato de Thiesen realizado com Prof. Zuquette em 29/4/2016



270135 0 270 540 810 1.080

Escala: 1:25.000

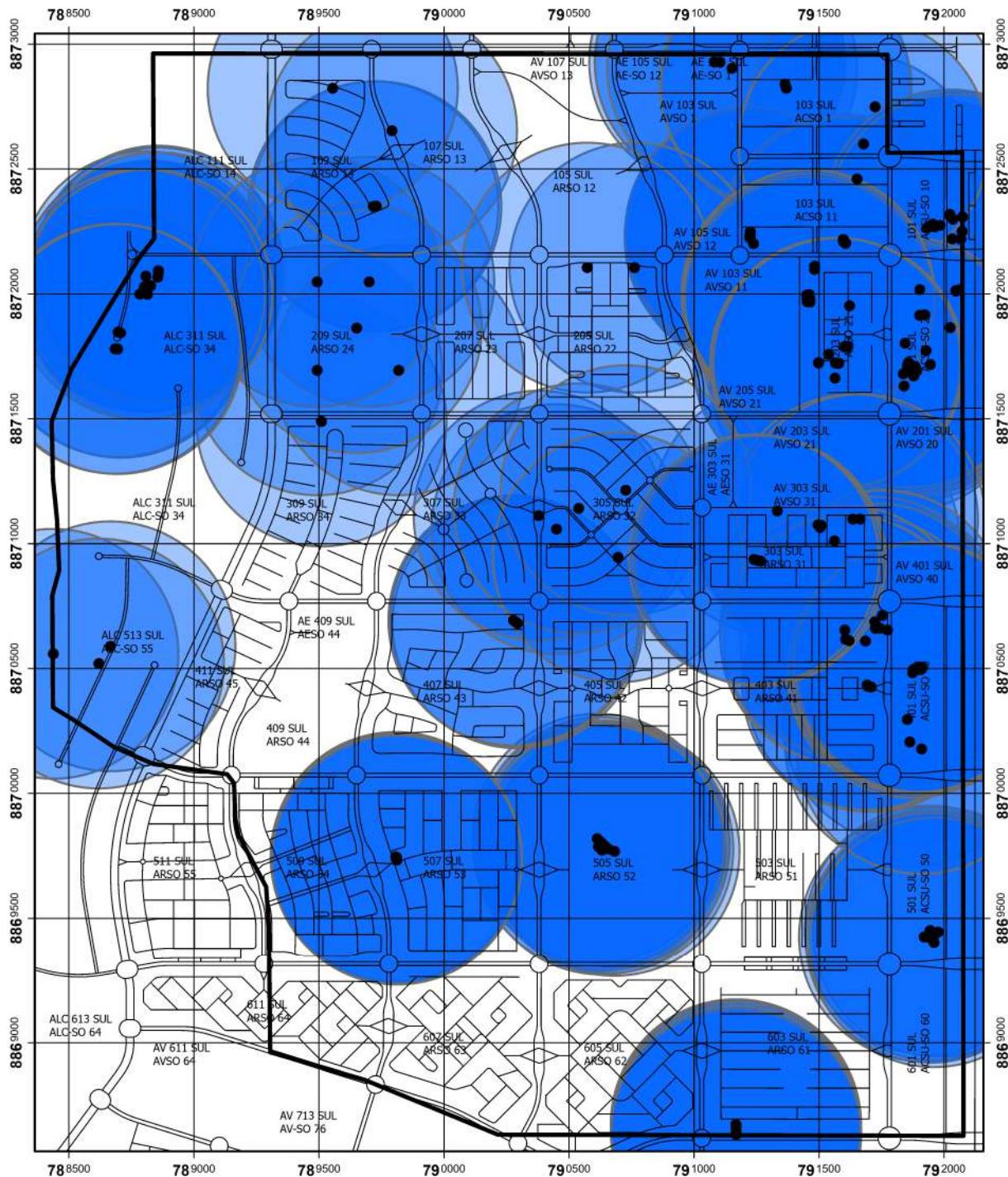


**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS
DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL PARA AS SONDAGENS ESTUDADAS REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



-  ÁREA DELIMITADA
 REDE VIÁRIA URBANA
 PONTOS - IMPENETRÁVEL
 BUFFER - 500 METROS

Tabela 1 – Densidade de amostragem no mapeamento geotécnico

Finalidade do mapeamen to geotécnico		Atributos					
		Qualitativos				Quantitativos	
		Metamórficas e ígneas		Sedimentares		Geral	
		Observações /km²	Distância entre os pontos observados (m)	Observações /km²	Distância entre os pontos observados (m)	Observações /km²	Distância entre os pontos observados (m)
Básico	1:250.000	1/10	3162	1/10	3162	1/10	3162
	1:100.000	4/10	1581	3/10	1826	2/10	2236
	1:50.000	6/5	913	1/1	1000	3/10	1826
	1:25.000	3/1	577	2/1	707	1/1*	1000
Detalhe	1:25.000	5/1	447	4/1	500	4/1*	500
	1:10.000	15/1	258	15/1	258	10/1	316
	1:5.000	25/1	200	20/1	224	15/1	258
	1:2.000	40/1	158	35/1	169	25/1	200

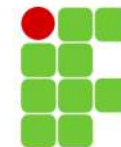
* Valores alterados conforme contato de Thiesen realizado com Prof. Zuquette em 29/4/2016



270135 0 270 540 810 1.080

Metros

Escala: 1:25.000

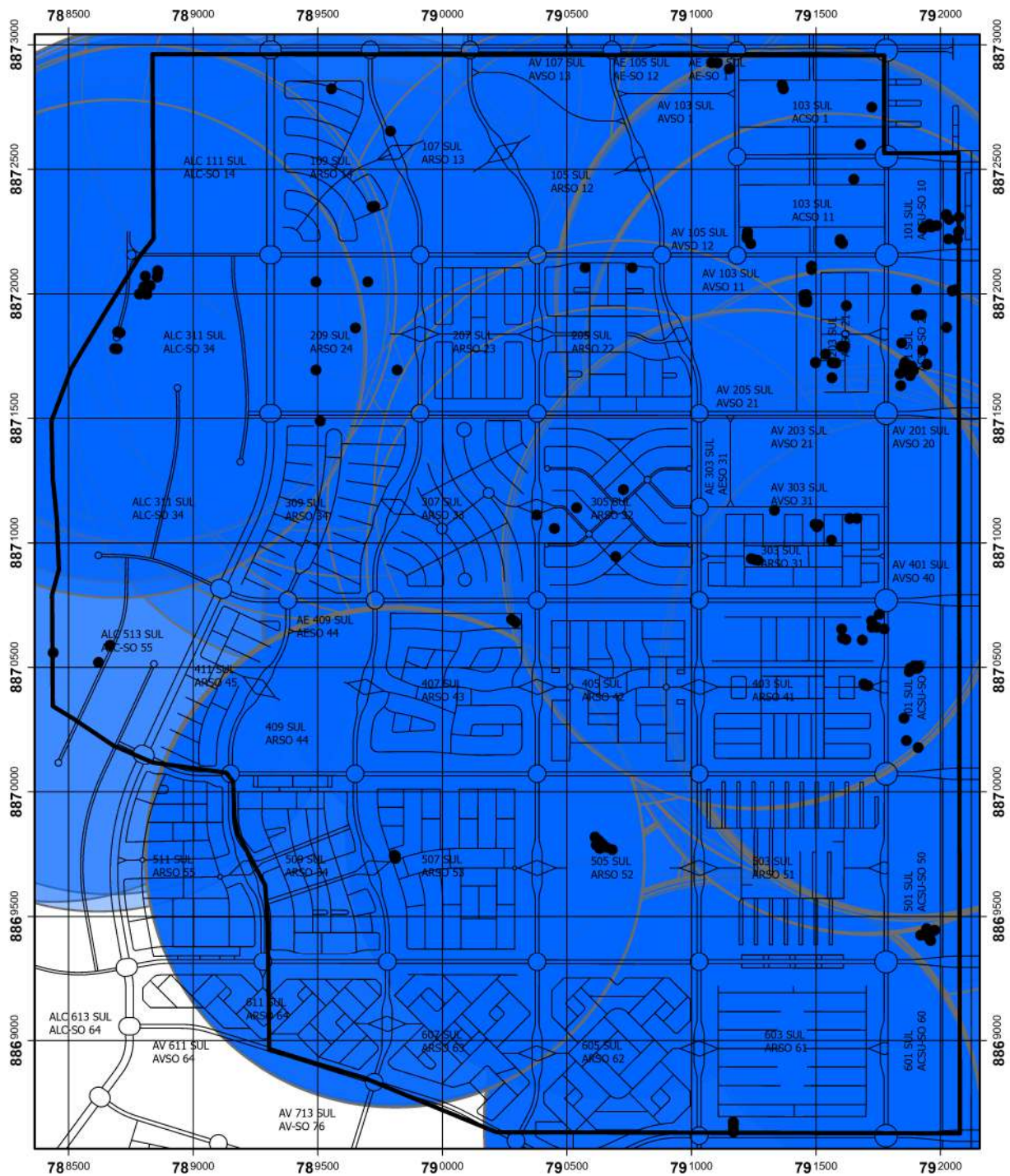


**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS
DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL PARA AS SONDAGENS ESTUDADAS REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO

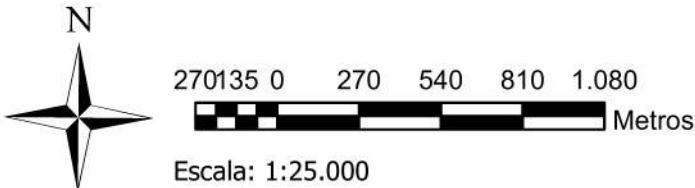


- ÁREA DELIMITADA
- REDE VIÁRIA URBANA
- PONTOS - IMPENETRÁVEL
- BUFFER - 1000 METROS

Tabela 1 – Densidade de amostragem no mapeamento geotécnico

Finalidade do mapeamento geotécnico	Escala	Atributos					
		Qualitativos			Quantitativos		
		Metamórficas e ígneas		Sedimentares	Geral		
		Observações /km²	Distância entre os pontos observados (m)	Observações /km²	Distância entre os pontos observados (m)	Observações /km²	Distância entre os pontos observados (m)
Básico	1:250.000	1/10	3162	1/10	3162	1/10	3162
	1:100.000	4/10	1581	3/10	1826	2/10	2236
Regional	1:50.000	6/5	913	1/1	1000	3/10	1826
	1:25.000	3/1	577	2/1	707	1/1*	1000
Detalhe	1:25.000	5/1	447	4/1	500	4/1*	500
	1:10.000	15/1	258	15/1	258	10/1	316
	1:5.000	25/1	200	20/1	224	15/1	258
	1:2.000	40/1	158	35/1	169	25/1	200

* Valores alterados conforme contato de Thiesen realizado com Prof. Zuquette em 29/4/2016

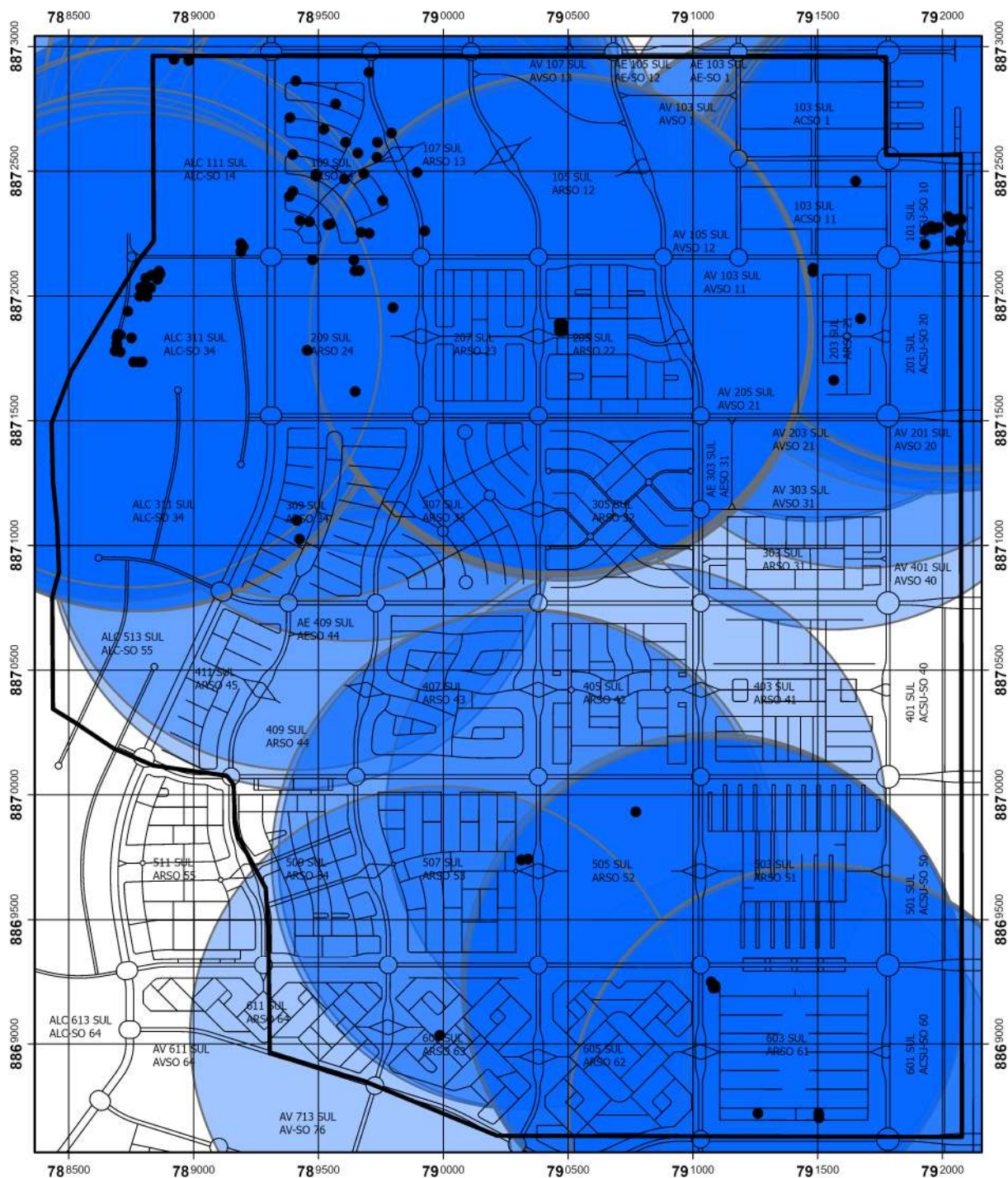


INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA TOCANTINS CAMPUS PALMAS



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS
DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL - N.A. PARA O PERÍODO ÚMIDO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



-  ÁREA DELIMITADA
-  REDE VIÁRIA URBANA
-  Pontos - N.A. - Período Úmido
-  BUFFER - N.A. Período Úmido - 1000M



270135 0 270 540 810 1.080
Metros

Escala: 1:25.000

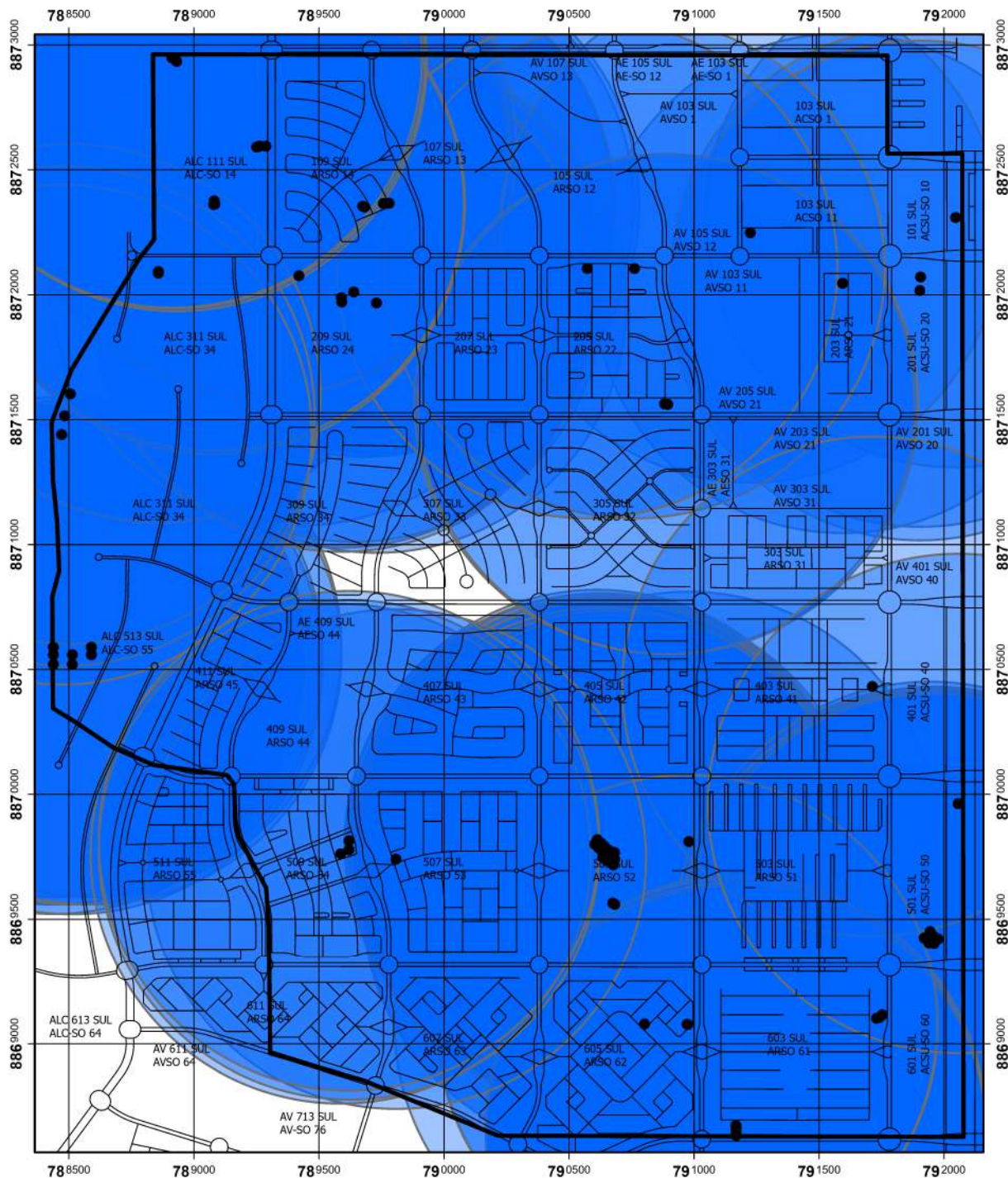


**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS
DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL - N.A. PARA O PERÍODO SECO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



- ÁREA DELIMITADA
- REDE VIÁRIA URBANA
- Pontos - N.A. - Período Seco
- BUFFER - N.A. Período Seco - 1000M



270135 0 270 540 810 1.080
Metros

Escala: 1:25.000

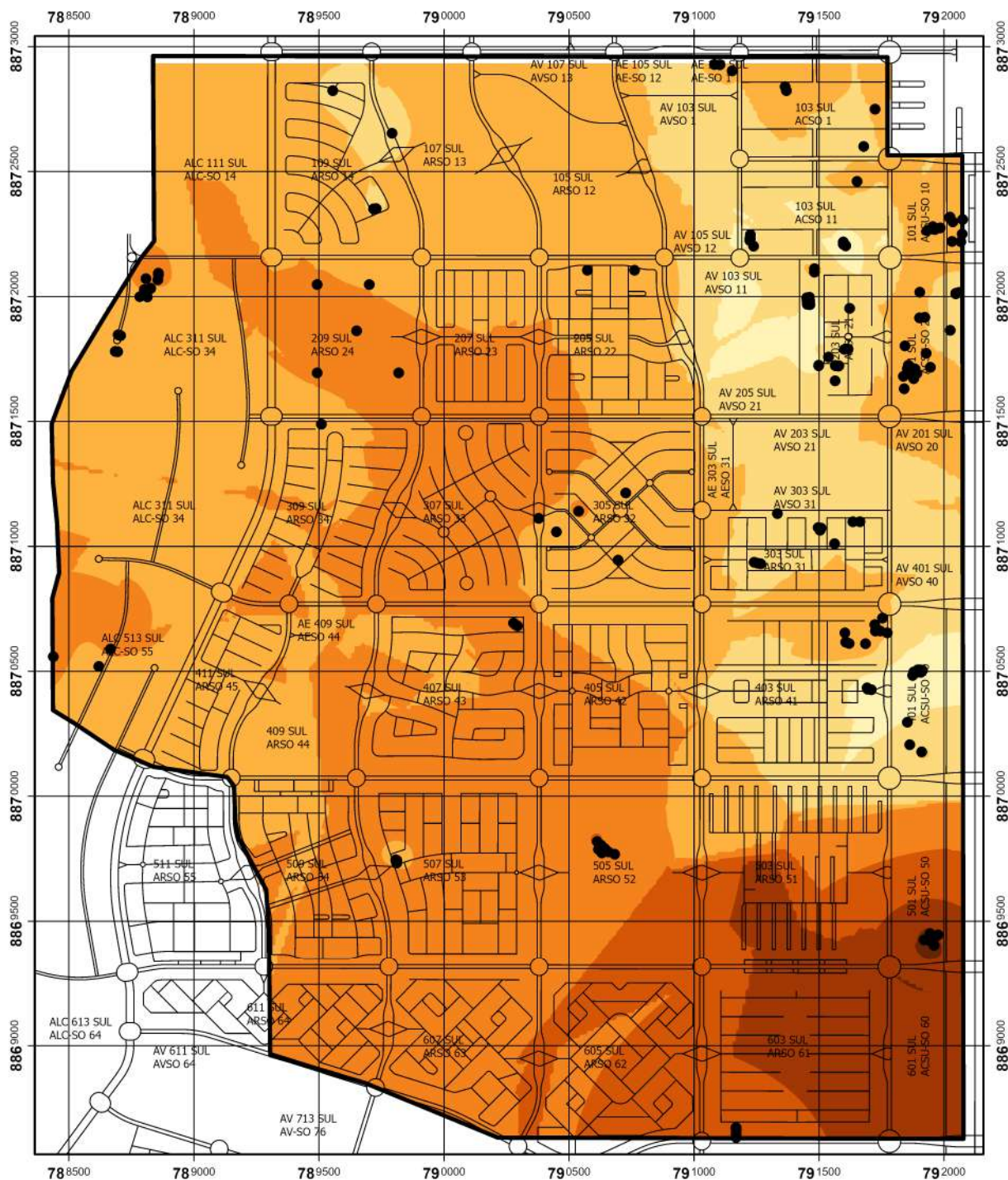


**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS
DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

PROFUNDIDADE DO IMPENETRÁVEL SPT REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



- ÁREA DELIMITADA
- REDE VIÁRIA URBANA
- PONTOS - IMPENETRÁVEL

PROFUNDIDADE DO IMPENETRÁVEL

LEGENDA:

- PROFUNDIDADE $\leq 3M$
- $3M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 6M$
- $6M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 9M$
- $9M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 12M$
- $12M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 15M$
- $15M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 18M$
- $18M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 21M$
- $21M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 24M$



270135 0 270 540 810 1.080
Metros

Escala: 1:25.000

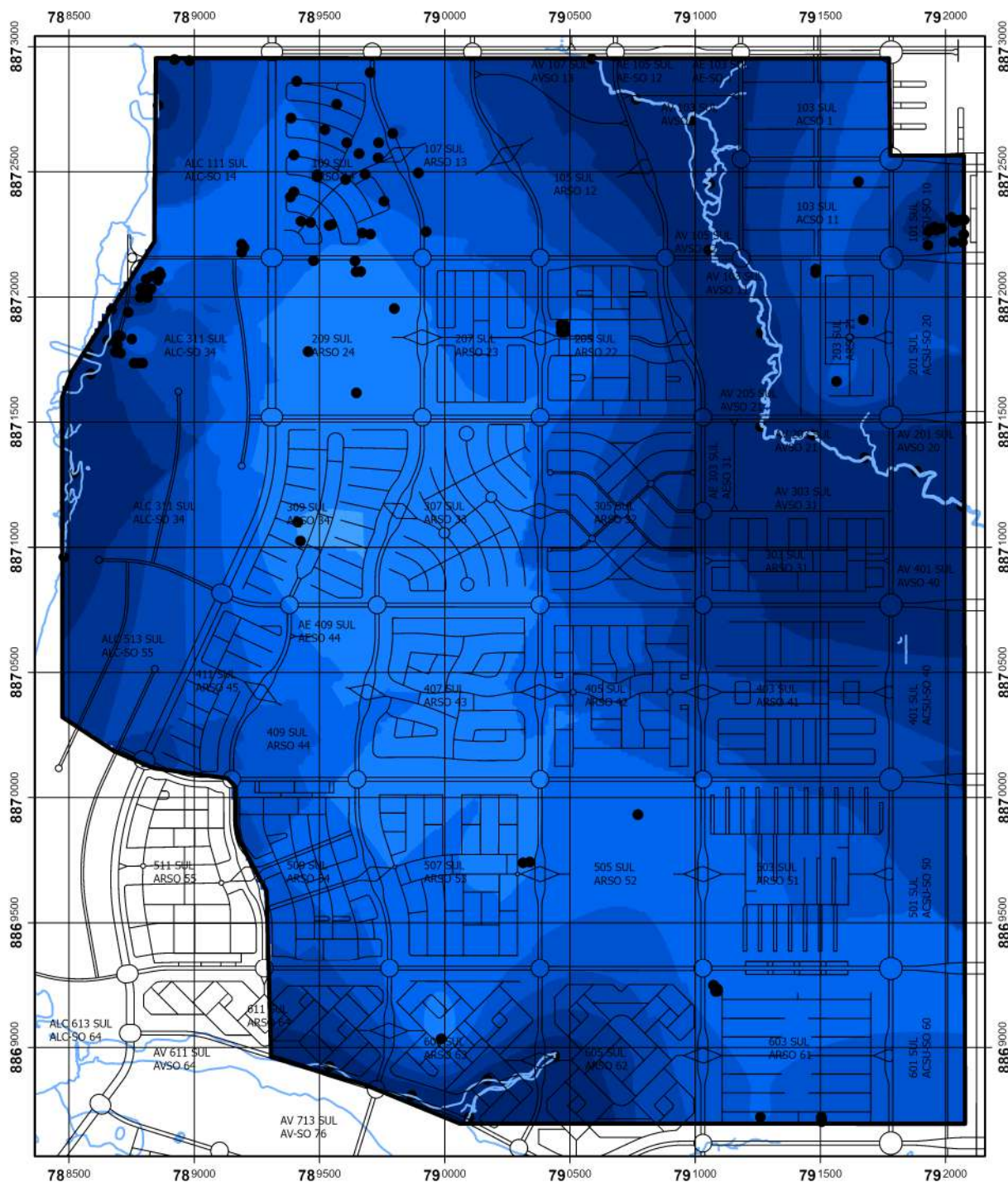


**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS
DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA PARA O PERÍODO ÚMIDO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



- REDE VIÁRIA URBANA
- HIDROGRAFIA DE PALMAS - TO
- PONTOS - N.A. - PERÍODO ÚMIDO

PROF. DO N.A. - PERÍODO ÚMIDO

LEGENDA:

- PROFUNDIDADE $\leq 2M$
- $2M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 4M$
- $4M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 6M$
- $6M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 8M$
- $8M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 10M$
- $10M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 12M$
- $12M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 14M$
- $14M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 16M$
- $16M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 18M$
- $18M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 20M$
- AREA DELIMITADA



270135 0 270 540 810 1.080
Metros

Escala: 1:25.000

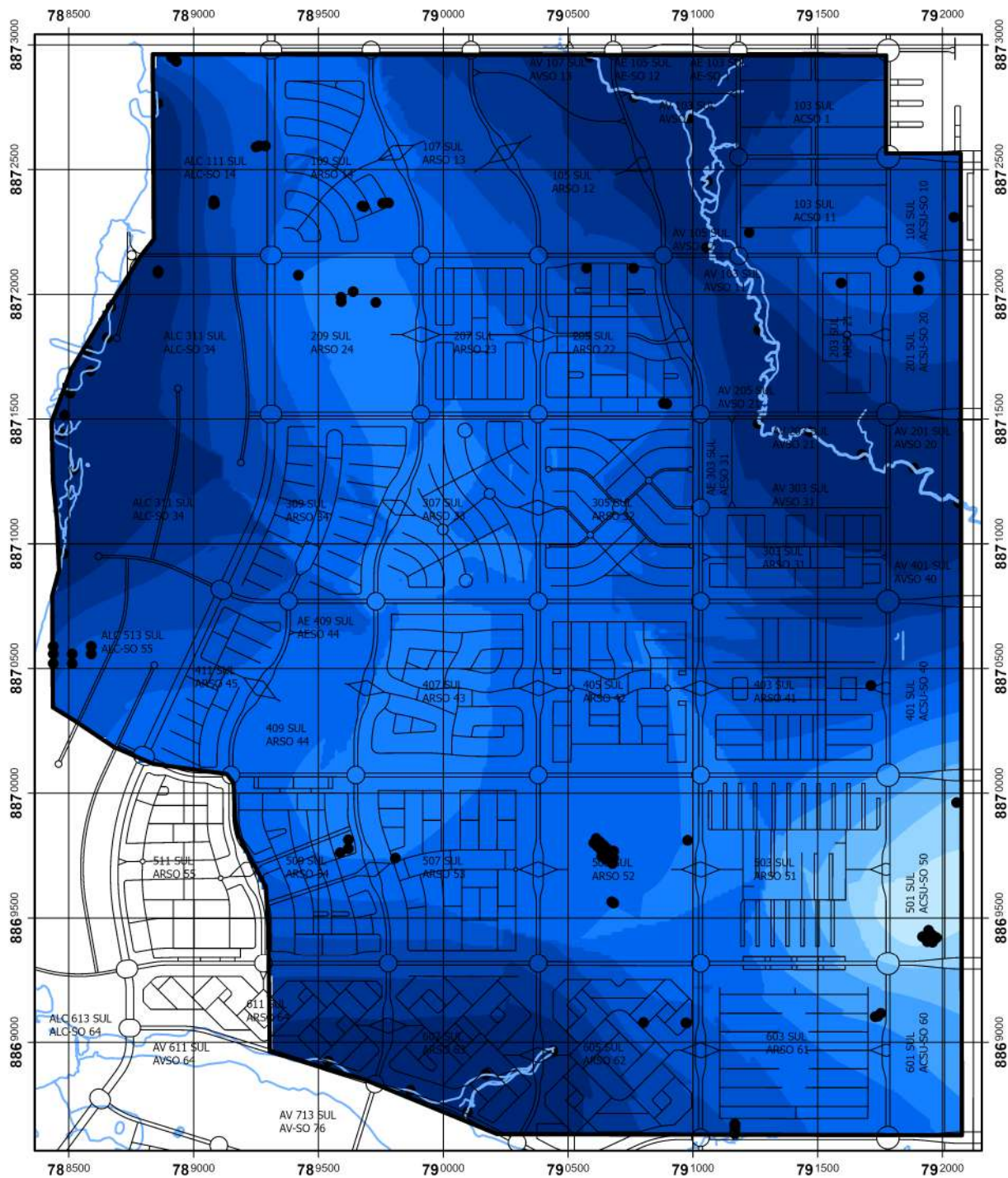


**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS
DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

**PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA PARA O PERÍODO SECO
REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO**



 ÁREA DELIMITADA

— REDE VIÁRIA URBANA

HIDROGRAFIA DE PALMAS - TO

- PONTOS - N.A. - PERÍODO SECO

PROF. DO N.A. - PERÍODO SECO

LEGENDA:

 PROFUNDIDADE $\leq 2M$

■ $2M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 4M$

■ $4M \leq \text{PROFUNDIDADE} \leq 6M$

6M ≤ PROFUNDIDADE ≤ 8M

8M ≤ PROFUNDIDADE ≤ 10M

10M ≤ PROFUNDIDADE ≤ 12M

12M ≤ PROFUNDIDADE ≤ 14M

14M ≤ PROFUNDIDADE ≤ 16M

16M ≤ PROFUNDIDADE ≤ 18M

18M ≤ PROFUNDIDADE ≤ 20M



270135 0 270 540 810 1.080

Escala: 1:25.000



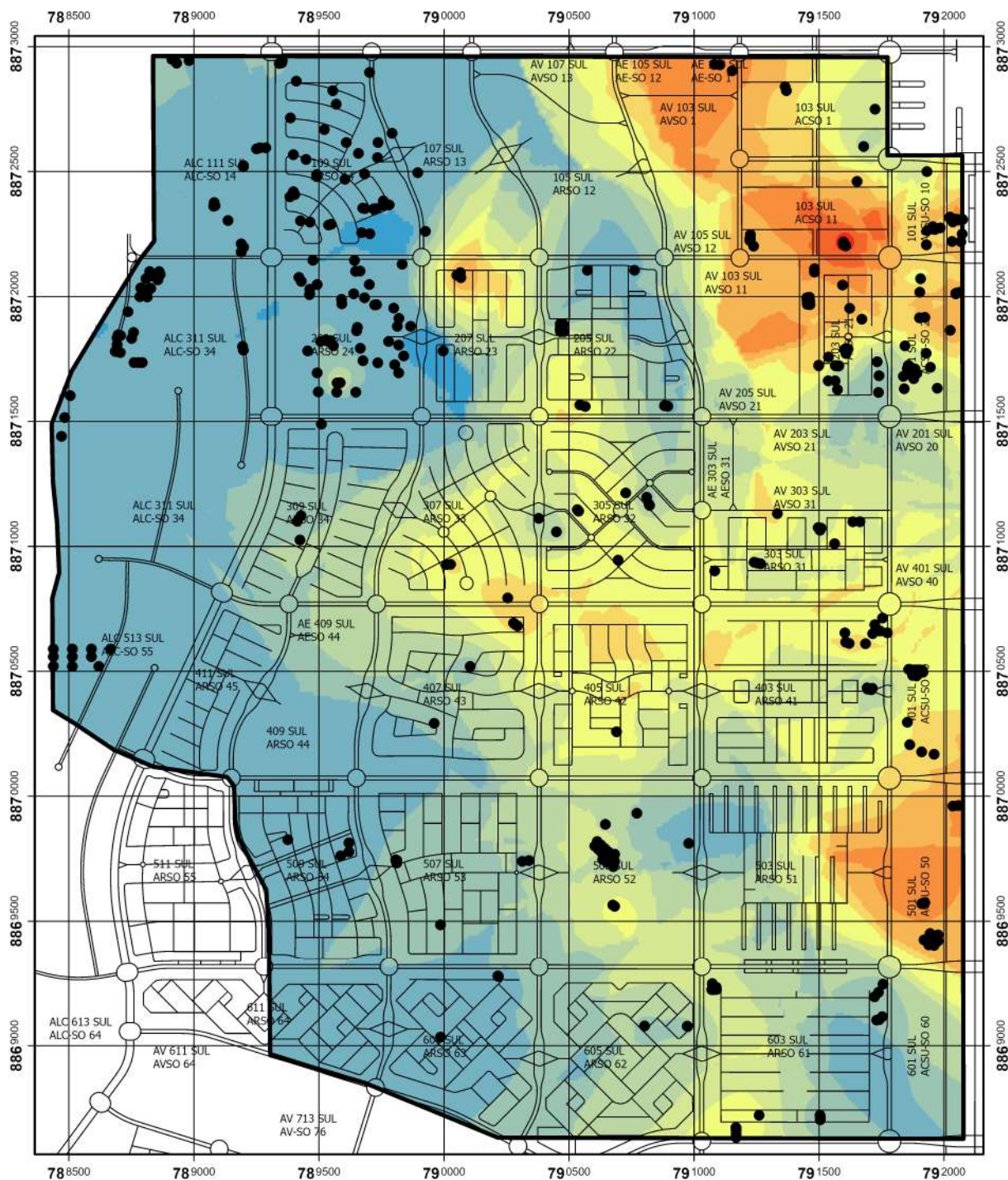
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS

DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

ESTADO DE COMPACIDADE E CONSISTÊNCIA DO SOLO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



ÁREA DELIMITADA

REDE VIÁRIA URBANA

PONTOS - PROF: 1,00 M

DESIGNAÇÃO - PROF: 1,00 M

LEGENDA:

- COMPACIDADE: FOFA(O)
- COMPACIDADE: POUCO COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MEDIAMENTE COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MUITO COMPACTA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO MOLE
- CONSISTÊNCIA: MOLE
- CONSISTÊNCIA: MÉDIA(O)
- CONSISTÊNCIA: RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: DURA(O)



270135 0 270 540 810 1.080

Metros

Escala: 1:25.000



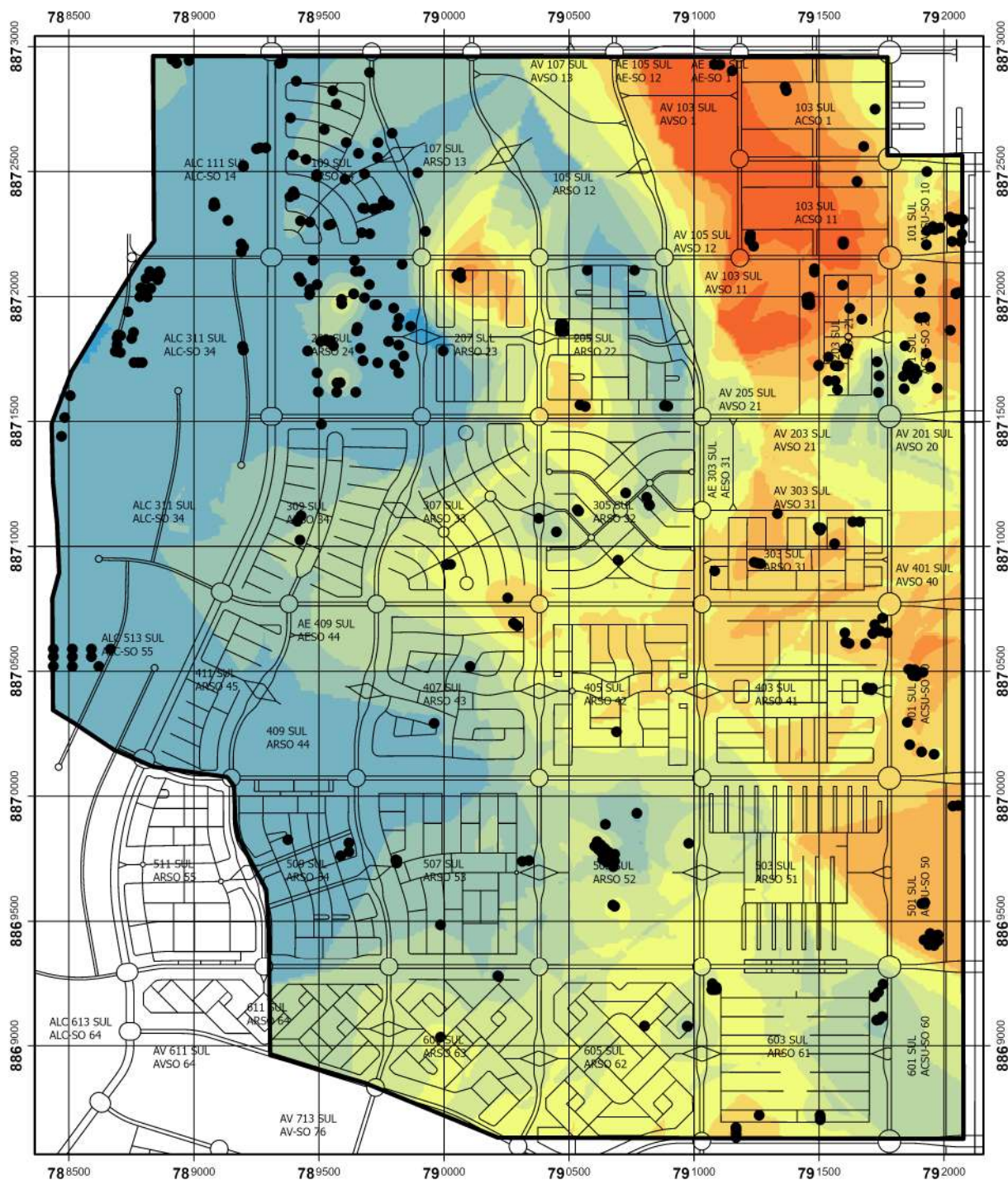
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS

DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

ESTADO DE COMPACIDADE E CONSISTÊNCIA DO SOLO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



ÁREA DELIMITADA

REDE VIÁRIA URBANA

PONTOS - PROF: 2,00 M

DESIGNAÇÃO - PROF: 2,00 M

LEGENDA:

- COMPACIDADE: FOFA(O)
- COMPACIDADE: POUCO COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MEDIAMENTE COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MUITO COMPACTA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO MOLE
- CONSISTÊNCIA: MOLE
- CONSISTÊNCIA: MÉDIA(O)
- CONSISTÊNCIA: RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: DURA(O)



270135 0 270 540 810 1.080

Metros

Escala: 1:25.000



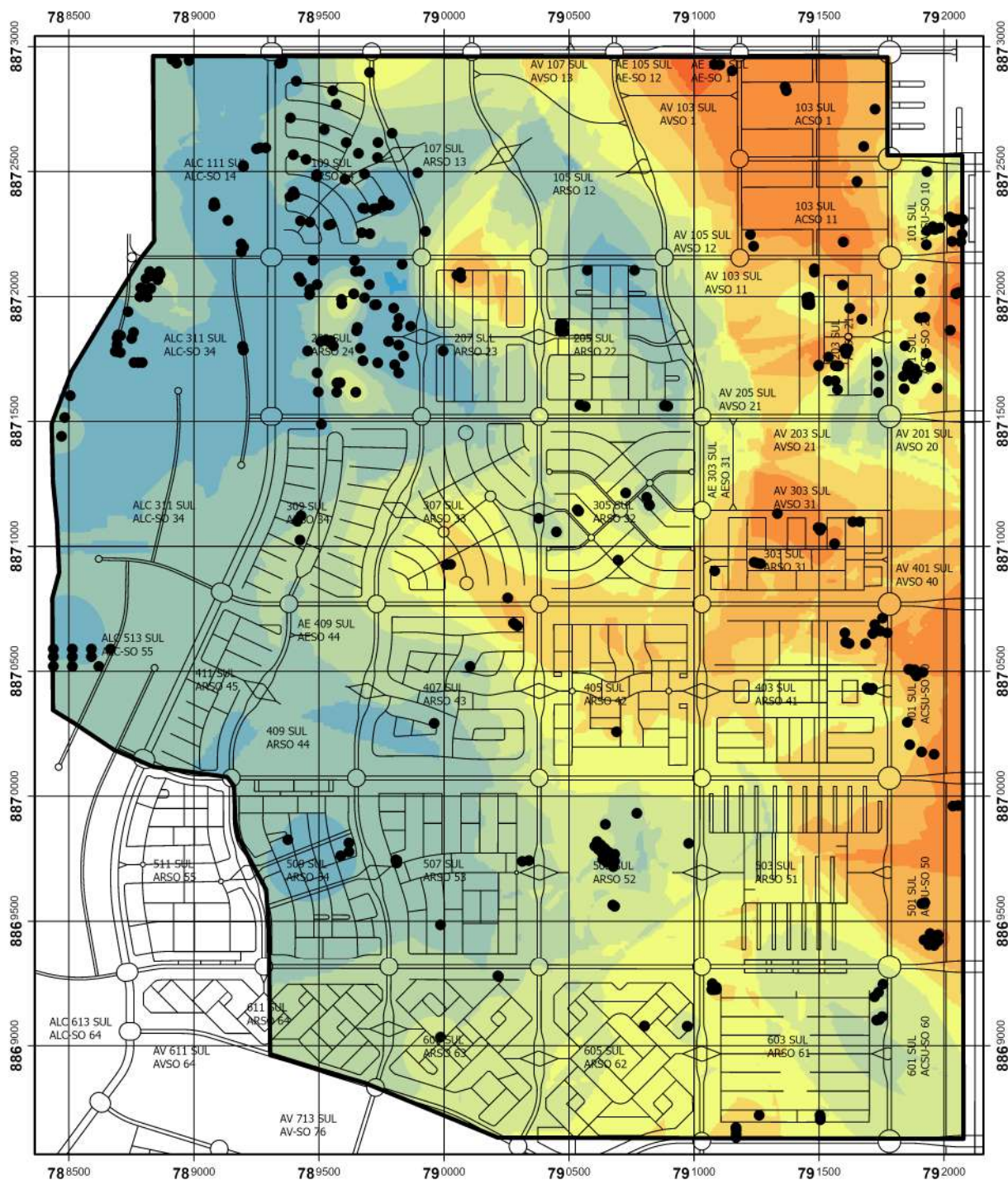
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS

DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

ESTADO DE COMPACIDADE E CONSISTÊNCIA DO SOLO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



ÁREA DELIMITADA

REDE VIÁRIA URBANA

PONTOS - PROF: 3,00 M

DESIGNAÇÃO - PROF: 3,00 M

LEGENDA:

- COMPACIDADE: FOFA(O)
- COMPACIDADE: POUCO COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MEDIAMENTE COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MUITO COMPACTA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO MOLE
- CONSISTÊNCIA: MOLE
- CONSISTÊNCIA: MÉDIA(O)
- CONSISTÊNCIA: RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: DURA(O)



270135 0 270 540 810 1.080

Metros

Escala: 1:25.000



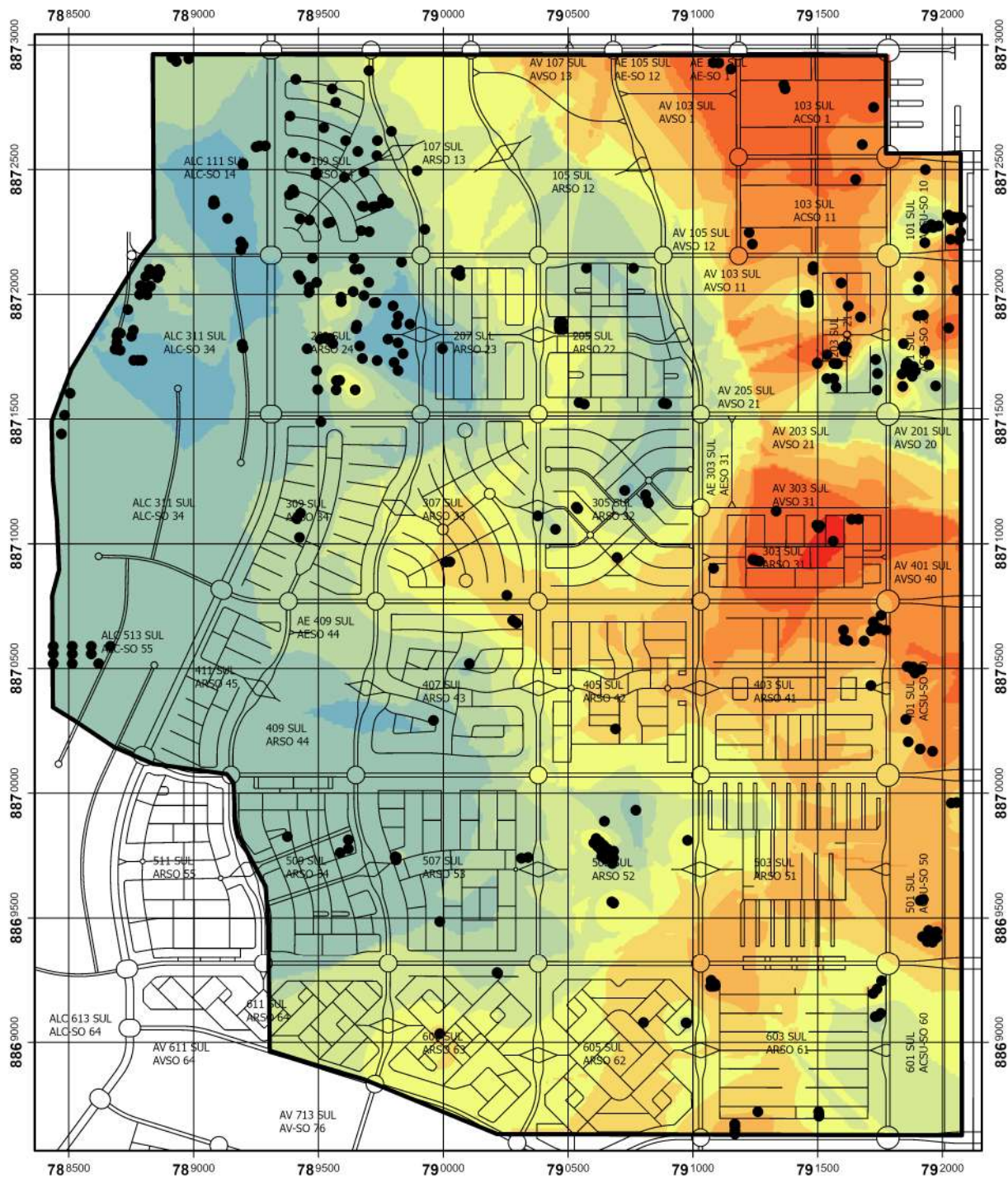
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS

DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

ESTADO DE COMPACIDADE E CONSISTÊNCIA DO SOLO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



 ÁREA DELIMITADA

— REDE VIÁRIA URBANA

- PONTOS - PROF: 4,00 M

DESIGNAÇÃO - PROF: 4,00 M

LEGENDA:

COMPACIDADE: FOFA(O)

COMPACIDADE: POUCO COMPACTA(O)

COMPACIDADE: MEDIAMENTE COMPACTA(O)

COMPACIDADE: COMPACTA(O)

COMPACIDADE: MUITO COMPACTA(O)

CONSISTÊNCIA: MUITO MOLE

CONSISTÊNCIA: MOLE

CONSISTÊNCIA: MÉDIA(O)

CONSISTÊNCIA: RIJA(O)

CONSISTÊNCIA: MUITO RIJA(O)

CONSISTÊNCIA: DURA(O)



270135 0 270 540 810 1.080

Escala: 1:25.000



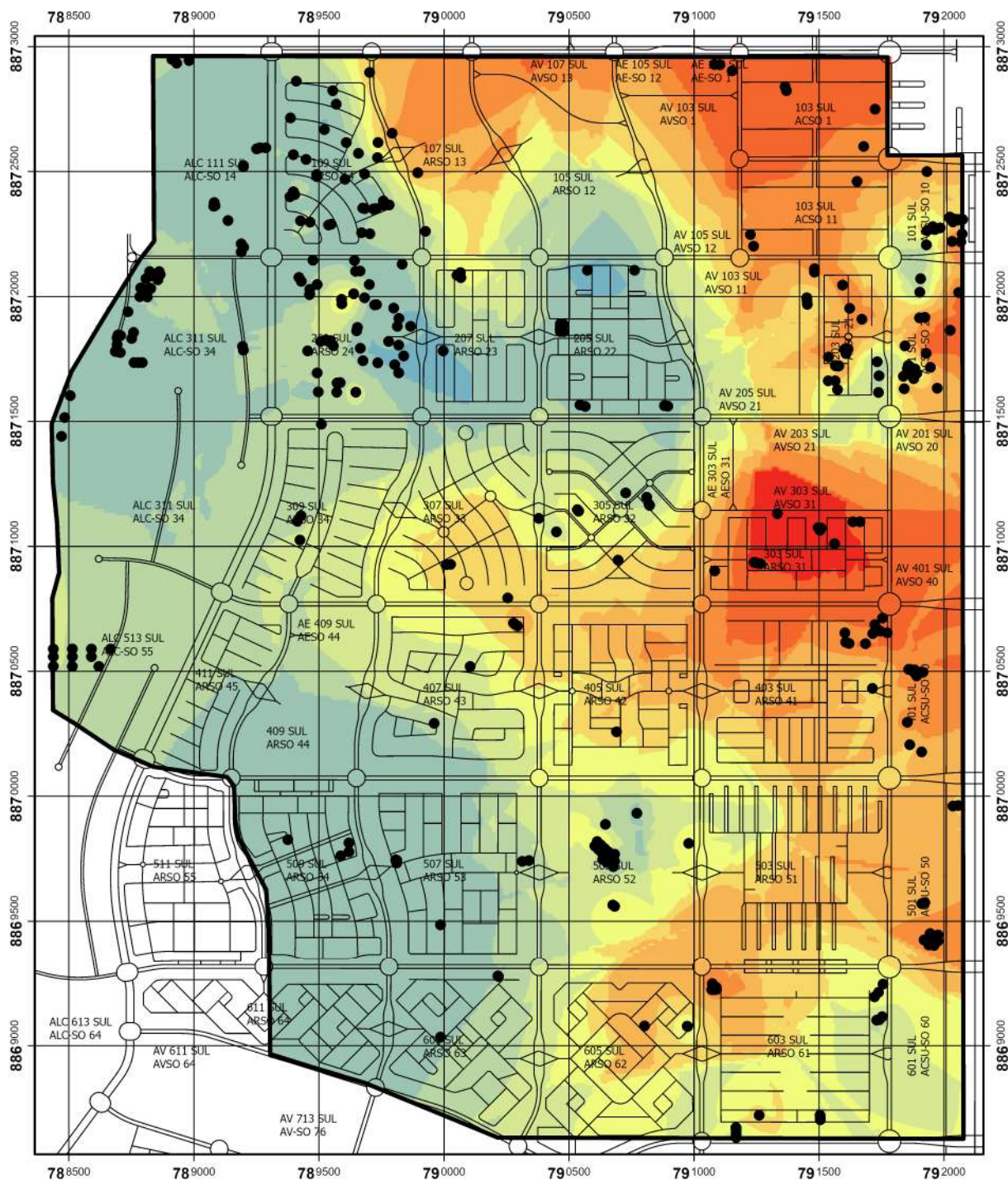
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS

DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

ESTADO DE COMPACIDADE E CONSISTÊNCIA DO SOLO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



-  ÁREA DELIMITADA
-  REDE VIÁRIA URBANA
-  PONTOS - PROF: 5,00 M

DESIGNAÇÃO - PROF: 5,00 M

LEGENDA:

-  COMPACIDADE: FOFA(O)
-  COMPACIDADE: POUCO COMPACTA(O)
-  COMPACIDADE: MEDIAMENTE COMPACTA(O)
-  COMPACIDADE: COMPACTA(O)
-  COMPACIDADE: MUITO COMPACTA(O)
-  CONSISTÊNCIA: MUITO MOLE
-  CONSISTÊNCIA: MOLE
-  CONSISTÊNCIA: MÉDIA(O)
-  CONSISTÊNCIA: RIJA(O)
-  CONSISTÊNCIA: MUITO RIJA(O)
-  CONSISTÊNCIA: DURA(O)



270135 0 270 540 810 1.080 Metros

Escala: 1:25.000

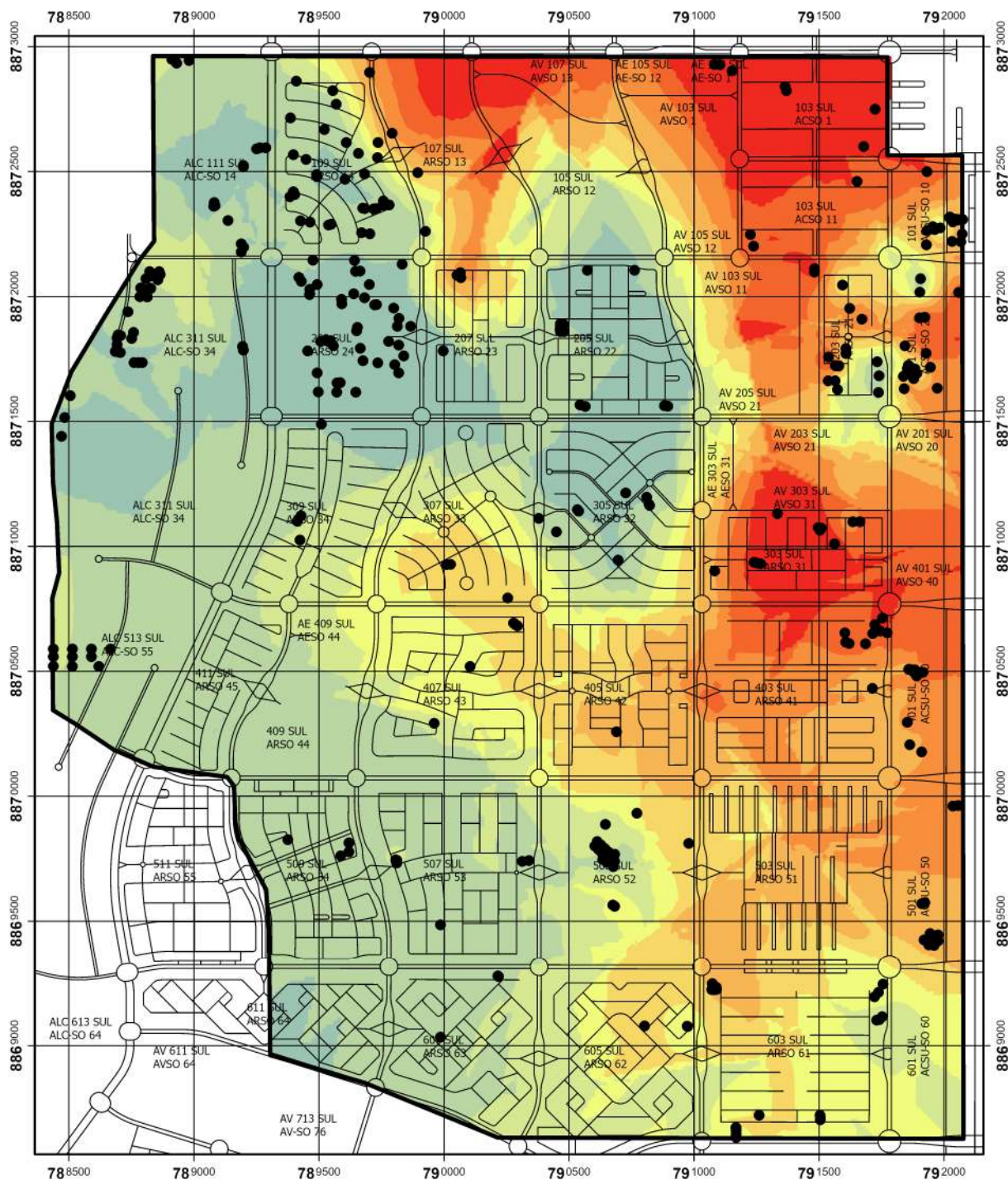


**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS
DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

ESTADO DE COMPACIDADE E CONSISTÊNCIA DO SOLO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



ÁREA DELIMITADA

REDE VIÁRIA URBANA

PONTOS - PROF: 6,00 M

DESIGNAÇÃO - PROF: 6,00 M

LEGENDA:

- COMPACIDADE: FOFA(O)
- COMPACIDADE: POUCO COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MEDIAMENTE COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MUITO COMPACTA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO MOLE
- CONSISTÊNCIA: MOLE
- CONSISTÊNCIA: MÉDIA(O)
- CONSISTÊNCIA: RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: DURA(O)



270135 0 270 540 810 1.080

Metros

Escala: 1:25.000



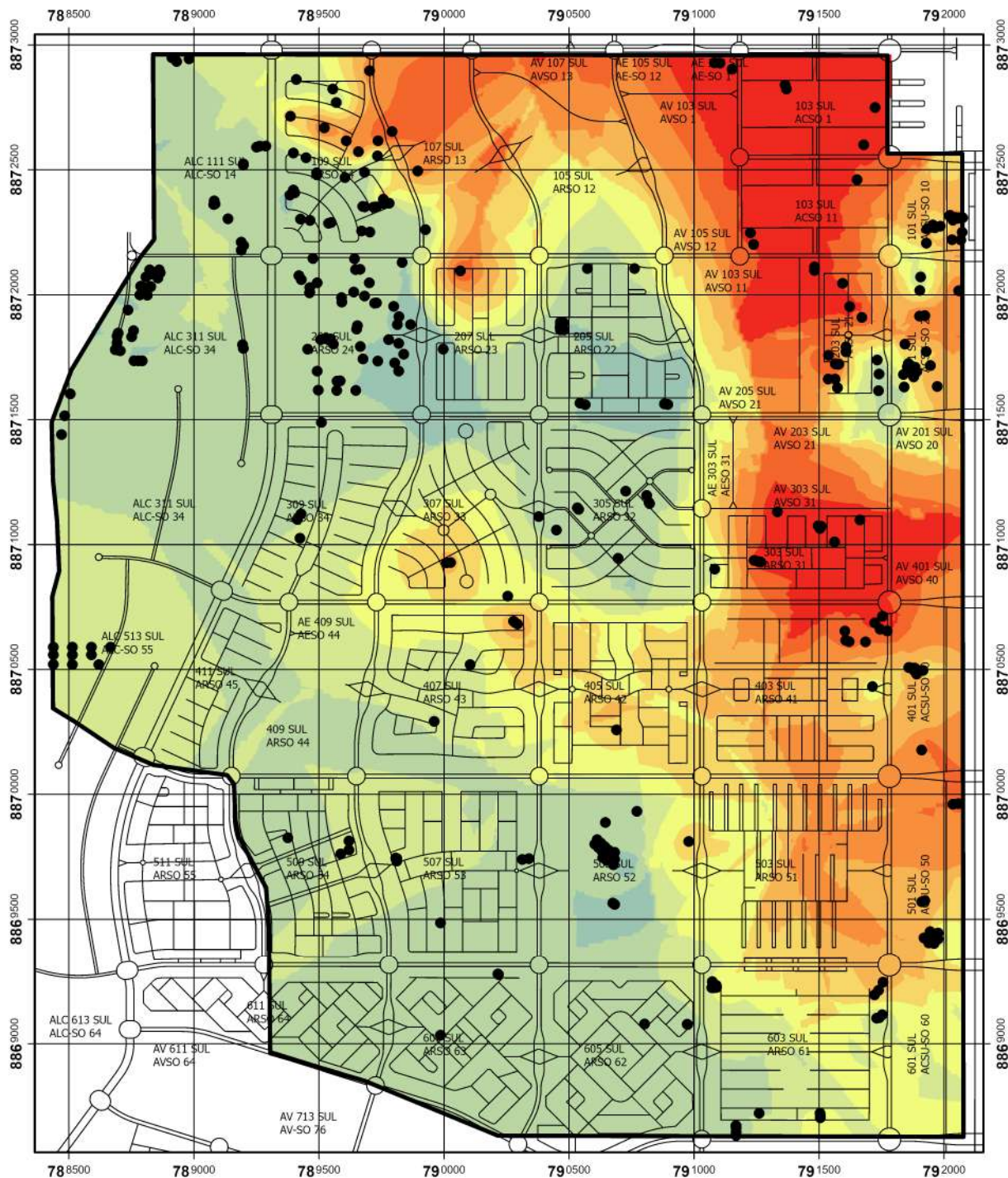
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS

DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

ESTADO DE COMPACIDADE E CONSISTÊNCIA DO SOLO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



 ÁREA DELIMITADA

— REDE VIÁRIA URBANA

- PONTOS - PROF: 7,00 M

DESIGNAÇÃO - PROF: 7,00 M

LEGENDA:

COMPACIDADE: FOFA(O)

COMPACIDADE: POUCO COMPACTA(O)

COMPACIDADE: MEDIAMENTE COMPACTA(O)

COMPACIDADE: COMPACTA(O)

COMPACIDADE: MUITO COMPACTA(O)

CONSISTÊNCIA: MUITO MOLE

CONSISTÊNCIA: MOLE

CONSISTÊNCIA: MÉDIA(O)

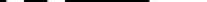
CONSISTÊNCIA: RIJA(O)

 CONSISTÊNCIA: MUITO RIJA(O)

CONSISTÊNCIA: DURA(O)



270135 0 270 540 810 1.080



Metros

Escala: 1:25.000



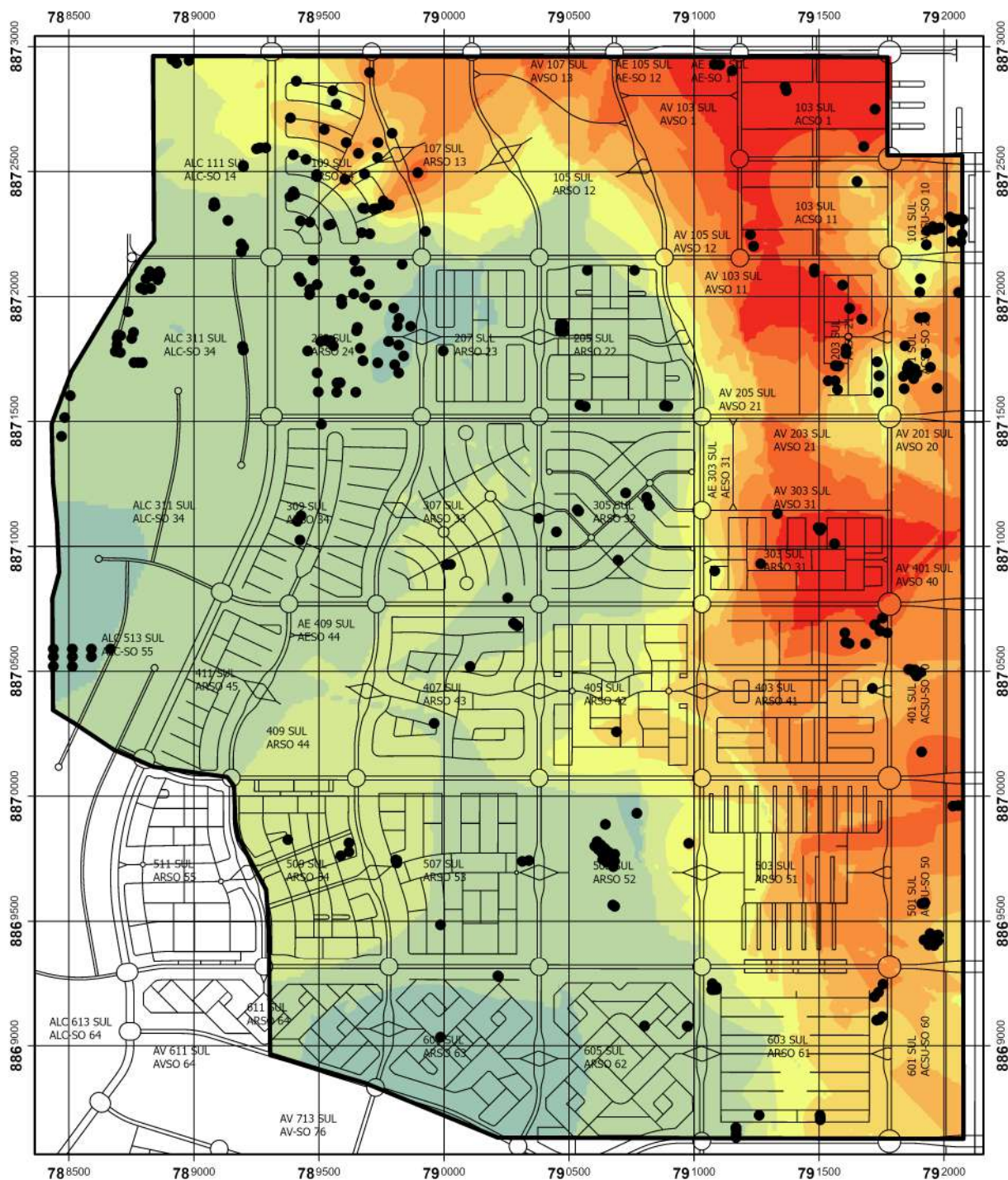
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS

DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

ESTADO DE COMPACIDADE E CONSISTÊNCIA DO SOLO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



ÁREA DELIMITADA

REDE VIÁRIA URBANA

PONTOS - PROF: 8,00 M

DESIGNAÇÃO - PROF: 8,00 M

LEGENDA:

- COMPACIDADE: FOFA(O)
- COMPACIDADE: POUCO COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MEDIAMENTE COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MUITO COMPACTA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO MOLE
- CONSISTÊNCIA: MOLE
- CONSISTÊNCIA: MÉDIA(O)
- CONSISTÊNCIA: RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: DURA(O)



270135 0 270 540 810 1.080

Metros

Escala: 1:25.000



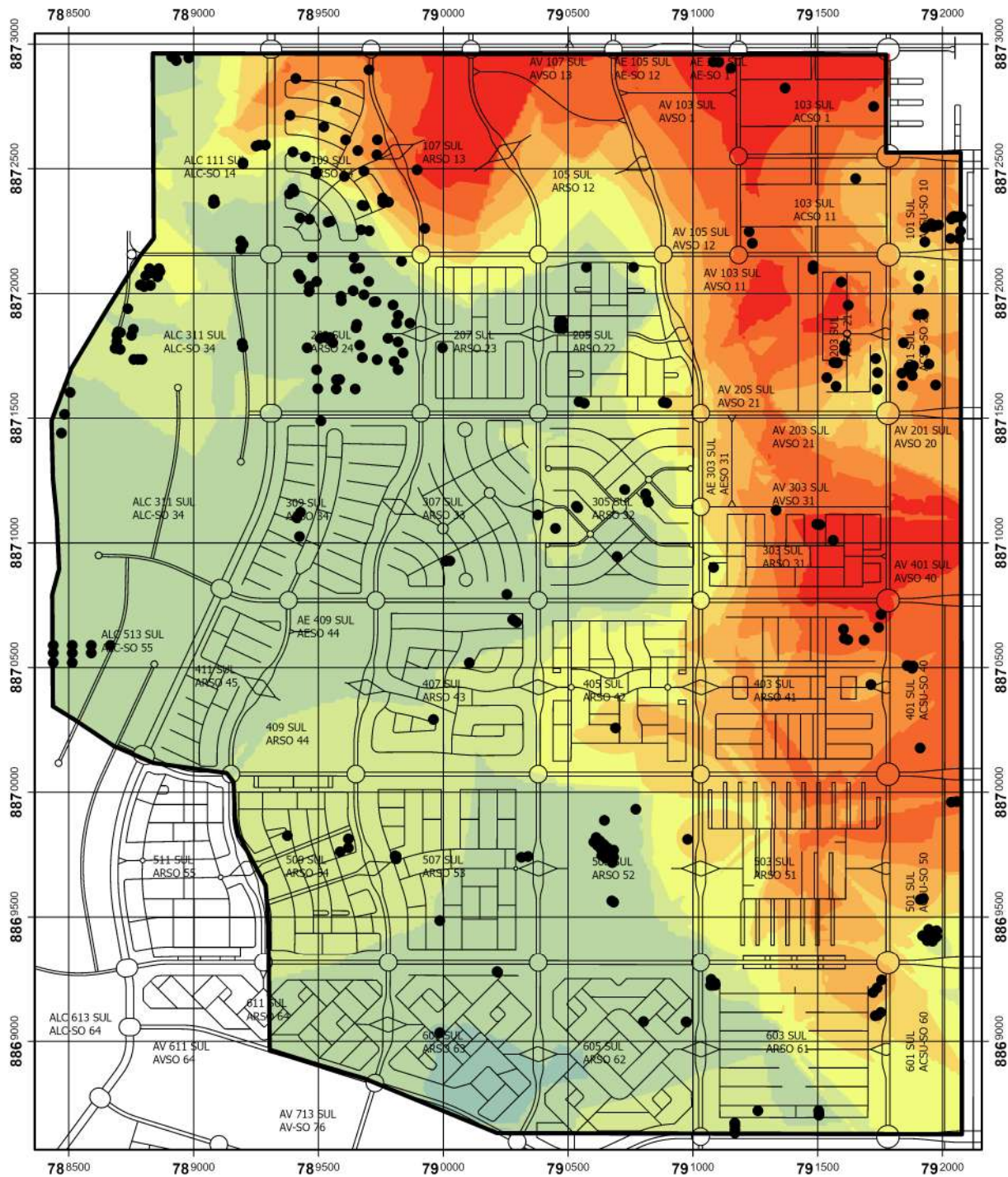
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS

DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

ESTADO DE COMPACIDADE E CONSISTÊNCIA DO SOLO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



 ÁREA DELIMITADA

— REDE VIÁRIA URBANA

- PONTOS - PROF: 9,00 M

DESIGNAÇÃO - PROF: 9,00 M

LEGENDA:

COMPACIDADE: FOFA(O)

COMPACIDADE: POUCO COMPACTA(O)

COMPACIDADE: MEDIAMENTE COMPACTA(O)

COMPACIDADE: COMPACTA(O)

 COMPACIDADE: MUITO COMPACTA(O)

CONSISTÊNCIA: MUITO MOLE

 CONSISTÊNCIA: MOLE

 CONSISTÊNCIA: MÉDIA(O)

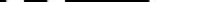
CONSISTÊNCIA: RIJA(O)

CONSISTÊNCIA: MUITO RIJA(O)

CONSISTÊNCIA: DURA(O)



270135 0 270 540 810 1.080



Metros

Escala: 1:25.000



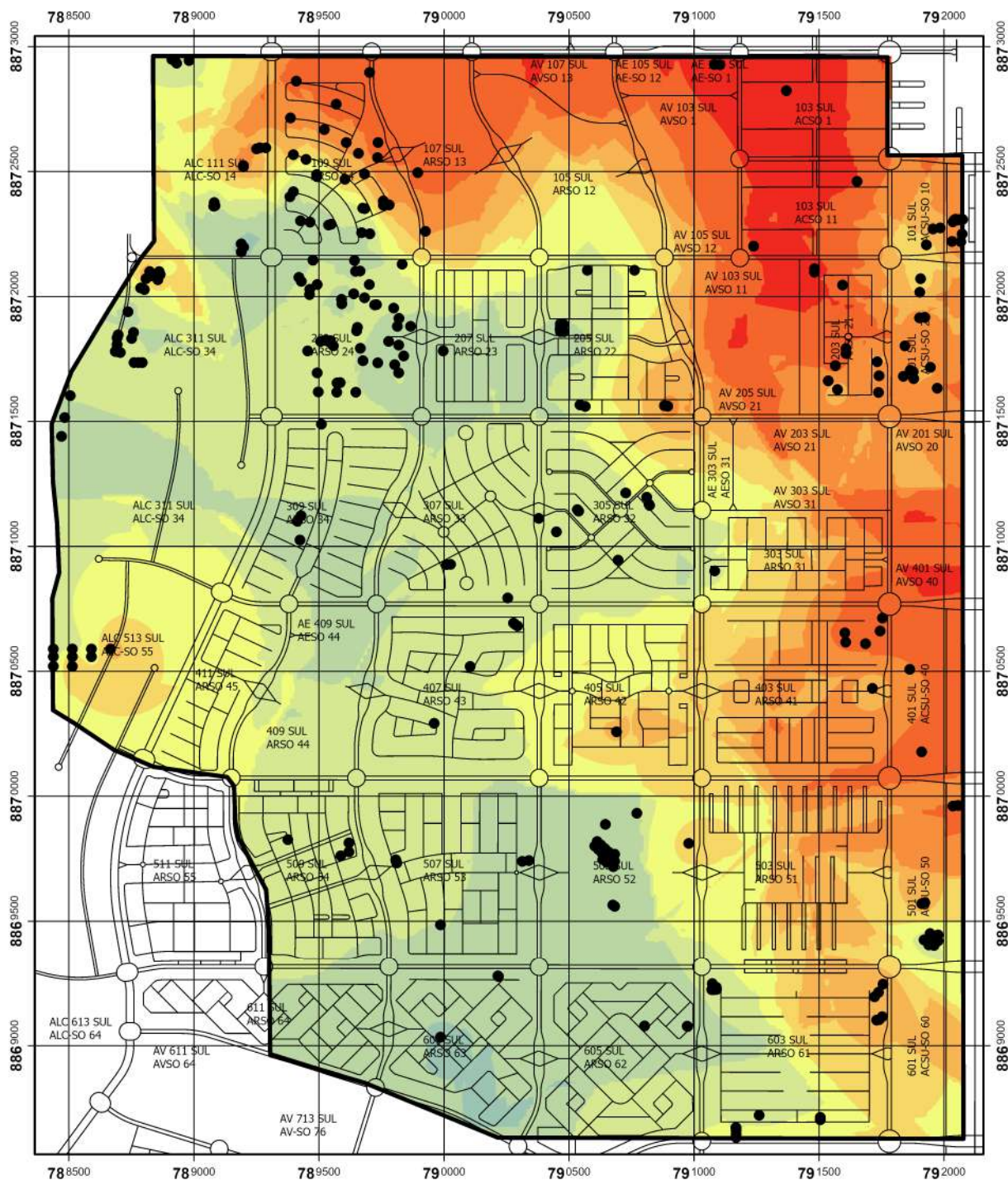
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS

DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

ESTADO DE COMPACIDADE E CONSISTÊNCIA DO SOLO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



ÁREA DELIMITADA

REDE VIÁRIA URBANA

PONTOS - PROF: 10,00 M

DESIGNAÇÃO - PROF: 10,00 M

LEGENDA:

- COMPACIDADE: FOFA(O)
- COMPACIDADE: POUCO COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MEDIAMENTE COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MUITO COMPACTA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO MOLE
- CONSISTÊNCIA: MOLE
- CONSISTÊNCIA: MÉDIA(O)
- CONSISTÊNCIA: RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: DURA(O)



270135 0 270 540 810 1.080

Metros

Escala: 1:25.000



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS

DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

ESTADO DE COMPACIDADE E CONSISTÊNCIA DO SOLO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



ÁREA DELIMITADA

REDE VIÁRIA URBANA

PONTOS - PROF: 11,00 M

DESIGNAÇÃO - PROF: 11,00 M

LEGENDA:

- COMPACIDADE: FOFA(O)
- COMPACIDADE: POUCO COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MEDIAMENTE COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MUITO COMPACTA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO MOLE
- CONSISTÊNCIA: MOLE
- CONSISTÊNCIA: MÉDIA(O)
- CONSISTÊNCIA: RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: DURA(O)



270135 0 270 540 810 1.080

Metros

Escala: 1:25.000



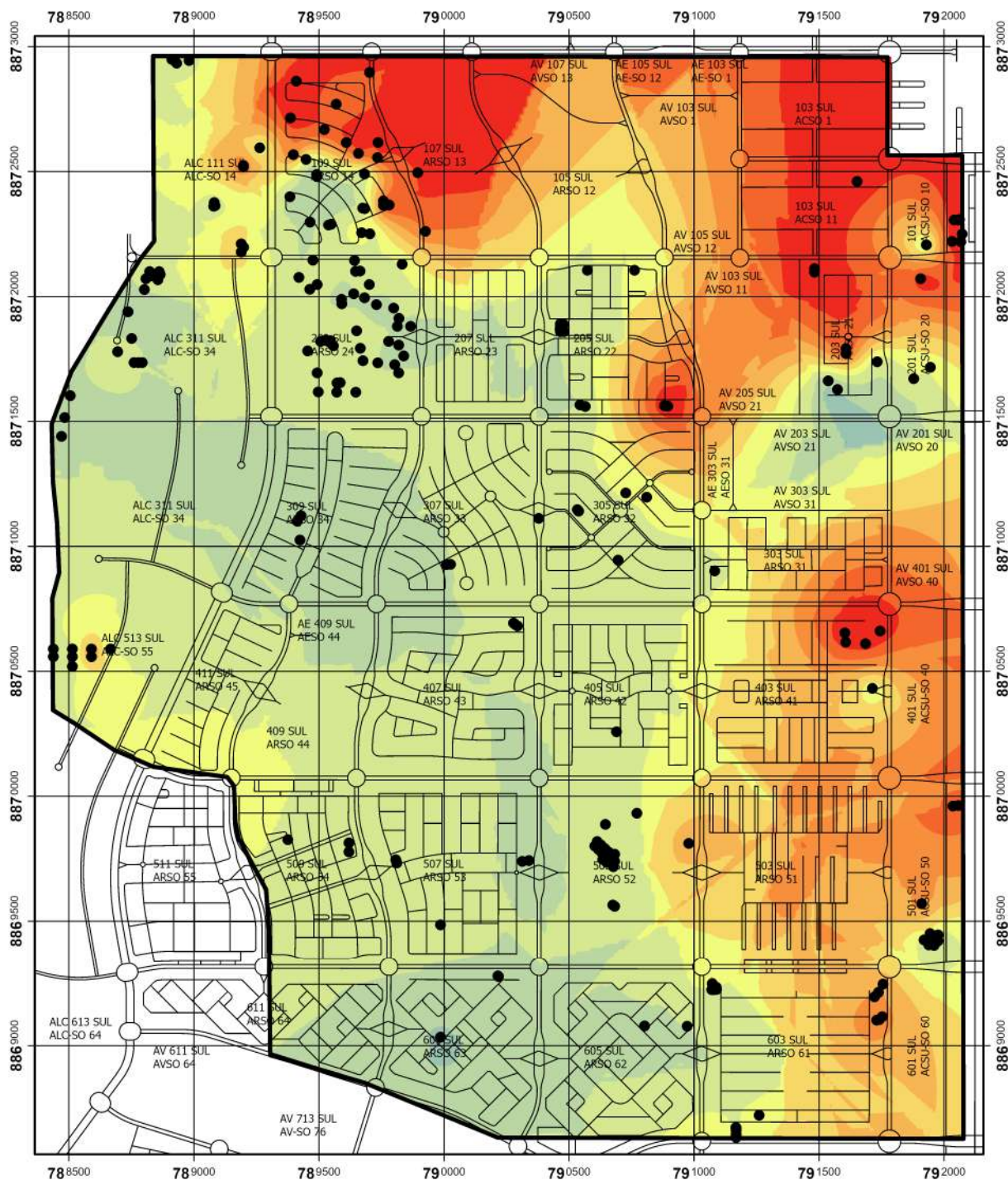
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS

DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S

ESTADO DE COMPACIDADE E CONSISTÊNCIA DO SOLO REGIÃO SUDOESTE DO PLANO DIRETOR DE PALMAS-TO



ÁREA DELIMITADA

REDE VIÁRIA URBANA

PONTOS - PROF: 12,00 M

DESIGNAÇÃO - PROF: 12,00 M

LEGENDA:

- COMPACIDADE: FOFA(O)
- COMPACIDADE: POUCO COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MEDIAMENTE COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: COMPACTA(O)
- COMPACIDADE: MUITO COMPACTA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO MOLE
- CONSISTÊNCIA: MOLE
- CONSISTÊNCIA: MÉDIA(O)
- CONSISTÊNCIA: RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: MUITO RIJA(O)
- CONSISTÊNCIA: DURA(O)



270135 0 270 540 810 1.080

Metros

Escala: 1:25.000



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**



AUTOR: GUILHERME ALVES MORAIS

DATUM: SIRGAS 2000, ZONA 22 S