

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

MODELO GEOMECÂNICO PARA OS PRINCIPAIS SOLOS DE
BRASÍLIA

BRUNO CARRILHO DE CASTRO

ORIENTADOR: NEWTON MOREIRA DE SOUZA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOTECNIA

PUBLICAÇÃO: G.DM – 202/2011

BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO/2011

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**MODELO GEOMECÂNICO PARA OS PRINCIPAIS SOLOS DE
BRASÍLIA**

BRUNO CARRILHO DE CASTRO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

NEWTON MOREIRA DE SOUZA, DSc (UnB)
(ORIENTADOR)

JOSÉ CAMAPUM DE CARVALHO, DSc. (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

MAURICIO MARTINES SALES, DSc. (UFG)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF28 DE NOVEMBRO DE 2011.

FICHA CATALOGRÁFICA

CASTRO, BRUNO CARRILHO.

Modelo Geomecânico para os Principais Solos de Brasília.

179 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Geotecnia, 2011)

Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

1. Modelo Geomecânico 2. Parâmetros de Resistência

3. Previsão de capacidade de carga 4. Ensaios de campo

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CASTRO, B. C. (2011). Modelo Geomecânico para os Principais Solos de Brasília. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-202/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 179 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Bruno Carrilho de Castro

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Modelo Geomecânico para os Principais Solos de Brasília.

GRAU / ANO: Mestre / 2011

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Bruno Carrilho de Castro
Rua LB01 Jardim Leblon II
CEP: 74.455-352 – Goiânia/GO - Brasil.

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação ao professor Renato Cabral e a todos, que assim como ele, me abriram portas, permitindo-me esta magnífica oportunidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me deram o necessário suporte nestes dois anos difíceis. Minha família, minha namorada Renata Conciani e familiares. Agradeço também ao professor Newton pela confiança depositada, sua paciência e sabedoria, ao Petrônio pela inestimável ajuda e também aos amigos Fernando, Bernardo e Esteban pelas contribuições e momentos de descontração.

RESUMO

MODELO GEOMECÂNICO PARA OS PRINCIPAIS SOLOS DE BRASÍLIA

A concentração demográfica nas grandes cidades é um fenômeno mundial, estima-se que 85% da população viverá em zonas urbanas nas próximas décadas. Essa população demanda moradia, meios de transporte, empregos e serviços públicos em geral. Para tanto é necessário espaço, espaço este que se torna cada vez mais escasso e, portanto valorizado. A solução apontada por muitos pesquisadores, e que já está sendo colocada em prática em alguns países, é o uso acentuado do espaço subterrâneo, destinando-o a acomodar não apenas infraestrutura, mas também indústrias, comércios, linhas de tráfego e utilidades públicas. Reservando, deste modo, a superfície para atividades mais nobres como a moradia o trabalho e o lazer. Para poder planejar a ocupação não só do espaço subterrâneo como também realizar projetos das diversas estruturas urbanas de formas mais seguras e econômicas são necessárias informações geotécnicas. Este trabalho é resultado da captação e processamento de informações geotécnicas produzidas no Distrito Federal nos últimos anos. Essas informações foram organizadas e tratadas estatisticamente de modo a fornecer subsídios para o melhor entendimento do comportamento geomecânico do subsolo. Como resultados obtiveram-se relações entre os parâmetros de resistência mecânica (c e ϕ) e dados obtidos em ensaios de campo e laboratório (SPT, provas de carga, caracterização). Desse modo verificou-se a possibilidade de se determinar espacialmente o comportamento do solo, o que é muito útil em uma avaliação preliminar para qualquer projeto. Neste contexto o presente trabalho contribui com informações para atender a necessidade de maior aproveitamento do subsolo, de maneira cada vez mais segura, econômica e ágil.

ABSTRACT

GEOMECHANICAL MODEL FOR MAJOR SOILS OF BRASILIA

The demographic concentration in large cities is a worldwide phenomenon, it is estimated that 85% of the population live in urban areas in the coming decades. This population demand housing, transportation, jobs and public services in general. This requires space, a space that becomes increasingly scarce and therefore valuable. The solution proposed by many researchers, and is already being put into practice in some countries is the heavy use of underground space and is designed to accommodate not only the infrastructure but also manufacturing, commerce, traffic lines and utilities. Allowing thus the surface for activities such as housing noblest work and leisure. This work is the result of the capture and processing of geotechnical information produced in the Federal District in recent years. These data were treated statistically and organized to provide subsidies to the better understanding of the geomechanical behavior of the subsoil. As a result we obtained relationships between the mechanical resistance (c and ϕ) and data from field and laboratory tests (SPT, load tests, characterization). Thus there was a possibility of determining the spatial behavior of the soil, which is very useful in a preliminary assessment for any project. In this context this work contributes to the need for greater use of the basement of an increasingly safe, economical and agile.

RÉSUMÉ

MODÈLE POUR SOLS GÉOMÉCANIQUE MAJEURS DE BRASILIA

La concentration démographique dans les grandes villes est un phénomène mondial, on estime que 85% de la population vivra dans des zones urbaines dans les décennies prochains. Cette population demande d'habitation, moyens de transport, emplois et services publics de manière générale. Pour tout ça il faut de l'espace, et ceci devient de plus en plus insuffisant et donc valorisé. La solution indiquée par plusieurs chercheurs, et qui est déjà mise en pratique dans certains pays, c'est l'usage accentué de l'espace souterrain, le menant à accommoder non seulement de l'infrastructure, mais aussi des industries, des commerces, des lignes de circulation et des utilités publiques. On réserve, comme ça, la surface aux activités plus nobles comme l'habitation, le travail et le loisir. Le présent travail est le résultat du recueil et du traitement des informations géotechniques produites au Distrito Federal aux dernières années. Ces informations ont été organisées et traitées statistiquement de façon à fournir des subsides pour une meilleure compréhension du comportement géomécanique du sous-sol. En conséquence, nous avons obtenu des relations entre la mécanique (c et ϕ) et données de terrain et des essais en laboratoire (SPT, tests de charge, la caractérisation). Ainsi il y avait une possibilité de déterminer le comportement spatial des sols, qui est très utile dans une évaluation préliminaire pour un projet. Dans ce contexte, le présent travail contribue au meilleur usage du sous-sol, de manière de plus en plus sûre, économique et agile.

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO.....	20
1.1- MOTIVAÇÃO	20
1.2- OBJETIVOS	20
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1.1- BRASÍLIA – BRASIL.....	22
2.1.2- MANAUS - BRASIL.....	23
2.1.3- ROMA - ITÁLIA	23
2.1.4- LAULANE – MOÇAMBIQUE.....	24
2.2- AQUISIÇÃO DE DADOS	24
2.2.1- BRASÍLIA - BRASIL.....	24
2.2.2- MANAUS – BRASIL.....	25
2.2.3- ROMA – ITÁLIA	25
2.2.4- LAULANE – MOÇAMBIQUE.....	26
2.3- METODOLOGIA DE TRABALHO	26
2.4- ANÁLISE DE ENSAIOS DE PROVA DE CARGA.....	27
2.5- DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES.....	31
2.5.1- MÉTODO AOKI VELOSO.....	32
2.5.2- MÉTODO DECOURT & QUARESMA (1978)	33
2.6- ESTATÍSTICA	35
2.6.1- ESTATÍSTICA DESCRITIVA	35
2.6.2- REGRESSÃO LINEAR.....	38
2.6.3- CORRELAÇÃO	39
2.7- SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO – SIG	39
2.7.1- DEFINIÇÕES	40
2.7.2- ESTRUTURA DE UM SIG.....	40
2.7.3- ANÁLISE ESPACIAL	41
2.8- MODELOS ESPACIAIS	41
2.8.1- BRASÍLIA - BRASIL.....	41
2.8.2- MANAUS - BRASIL.....	44
2.8.3- ROMA - ITÁLIA	46
2.8.4- LAULANE - MOÇAMBIQUE.....	47
3- MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1- MATERIAIS.....	49
3.1.1- ORGANIZAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS	49
3.2- MÉTODOS	50
3.2.1- LABORATÓRIO DE GEOTECNIA.....	50

3.2.2- PUBLICAÇÕES	53
3.2.3- EMPRESAS	54
4- RESULTADOS E ANÁLISES.....	60
4.1- CONDIÇÕES DO MEIO FÍSICO	60
4.1.1- ASPECTOS GERAIS	60
4.1.2- SITUAÇÃO GEOLÓGICA	61
4.1.3- GEOLOGIA REGIONAL	63
4.1.4- GEOMORFOLOGIA.....	66
4.1.5- PEDOLOGIA.....	69
4.1.6- HIDROGEOLOGIA	71
4.2- DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS - LABORATÓRIO X SONDAgens.....	76
4.2.1- ANÁLISE EXPLORATÓRIA GERAL	76
4.2.2- SOLOS POROSOS LATERÍTICOS SUPERFICIAIS.....	81
4.2.3- SOLOS SILTO-ARENOSOS	101
4.3- DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS - CAMPO	114
4.3.1- SOLOS POROSOS LATERÍTICOS SUPERFICIAIS.....	115
4.3.2- SILTE AMARELO	124
4.3.3- SILTE ROXO	132
4.3.4- VALIDAÇÃO.....	140
4.3.5- AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DOS MODELOS.....	141
4.4- APLICAÇÃO DOS MODELOS NA ESPACIALIZAÇÃO DE OBRAS.....	143
4.4.1- EXEMPLO 1.....	143
4.4.2- EXEMPLO 2.....	156
4.5- COMPARAÇÃO COM PROVAS DE CARGA	166
5- CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	168
5.1- MODELOS GERADOS	168
5.1.1- LABORATÓRIO – EQUAÇÕES 4.1 A 4.10.....	168
5.1.2- CAMPO – EQUAÇÕES 4.11 A 4.16	169
5.1.3- RELAÇÃO CAMPO – LABORATÓRIO.....	170
5.1.4- LIMITAÇÕES	170
5.2- SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	170
6- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	172
7- APÊNDICES	174

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Valores atribuídos às variáveis F1 e F2 (Veloso & Salamoni <i>apud</i> Schnaid, 2000).....	33
Tabela 2.2 – Valores atribuídos às variáveis K e α (Schnaid, 2000)	33
Tabela 2.3 – Valores atribuídos à variável K (Fonte: Décourt, 1996)	34
Tabela 2.4 – Valores atribuídos ao coeficiente α em função do tipo de estaca e do tipo de solo. (Fonte:)	34
Tabela 2.5 – Valores atribuídos ao coeficiente β em função do tipo de estaca e do tipo de solo. (Fonte: Décourt, 1996)	34
Tabela 2.6 - Interpretação para os valores de coeficiente de correlação r^2 (Assis <i>et al.</i> , 2002).	39
Tabela 2.7 - Valores médios para coesão e ângulo de atrito (Abel,2002).....	48
Tabela 3.1 - Excerto da categoria objeto caracterização.	52
Tabela 3.2 - Excerto da categoria objeto resistência.	52
Tabela 3.3 - Excerto da categoria objeto percolação e adensamento.	52
Tabela 3.4 - Excerto da planilha utilizada na elaboração dos modelos geomecânicos – laboratório de geotecnia.	53
Tabela 3.5 - Excerto da categoria objeto Tensão de ruptura do solo.	55
Tabela 3.6 - Sistema de informação geográfico – atrito unitário lateral.	56
Tabela 3.7 - Excerto do processo de obtenção dos valores de Tensão de ruptura do solo.....	57
Tabela 3.8 - Excerto do processo de obtenção dos fatores de atrito lateral.	58
Tabela 4.1 - Dados utilizados na elaboração dos modelos de laboratório para solos porosos lateríticos superficiais.....	83
Tabela 4.2 - Descrição estatística dos dados utilizados na elaboração dos modelos de laboratório para solos porosos lateríticos superficiais.....	84
Tabela 4.3 - Correlação entre os principais parâmetros – solos porosos lateríticos superficiais.	89
Tabela 4.4 - Dados utilizados na relação entre w_L e IP.	90
Tabela 4.5 - Dados utilizados na relação entre w_L e N_{SPT}	90
Tabela 4.6 - Dados utilizados na relação entre ϕ_s e w_L	91
Tabela 4.7 - Dados utilizados na relação previsão de c_n a partir de profundidade, N_{SPT} , índice de vazios e w_L	91
Tabela 4.8 - Dados utilizados na determinação da relação entre N_{SPT} e a profundidade, W_L , G_s e ϕ_n	92
Tabela 4.9 - Dados utilizados na confecção dos modelos de laboratório para solos silto-arenosos.....	102

Tabela 4.10 - Descrição estatística dos dados utilizados na elaboração dos modelos de laboratório para solos silto-arenosos.	103
Tabela 4.11 - Correlação entre os principais parâmetros – solos silto-arenosos.....	106
Tabela 4.12 - Base de dados utilizada na determinação da relação entre w_L e IP.....	106
Tabela 4.13 - Base de dados utilizada na determinação da relação entre índice de vazios e G_s	107
Tabela 4.14 - Base de dados utilizada na determinação da entre ϕ_n (ângulo de atrito na condição de umidade natural) e índice de vazios.	107
Tabela 4.15 - Base de dados utilizada na determinação da relação entre c_n (coesão na condição de umidade natural) e profundidade.	107
Tabela 4.16 - Base de dados utilizada na determinação da relação entre N_{SPT} , profundidade, c_n , índice de vazios e ϕ_n	108
Tabela 4.17 - Excerto da base de dados para elaboração dos modelos.	121
Tabela 4.18 - Excerto da base de dados para elaboração dos modelos – silte amarelo.	130
Tabela 4.19 - Excerto da base de dados para elaboração dos modelos – silte roxo.	138
Tabela 4.20 - Excerto da base de dados para elaboração dos modelos – silte roxo.	166
Tabela 5.1- Resumo dos modelos desenvolvidos.....	168

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Origem e distribuição das fontes de dados (modificado de Raspa <i>et al.</i> , 2008)...	25
Figura 2.2 - Metodologia de trabalho para o Modelo Integrado do Subsolo de Roma (modificado de Raspa <i>et al.</i> , 2008).	27
Figura 2.3 – Curvas carga x recalque com a carga em escala aritmética (a) e logarítmica (b) (Camapum de Carvalho <i>et al.</i> , 2008).	28
Figura 2.4 – Curvas tempo x deslocamento vertical (a) e carga x coeficiente de recalque (b). (Camapum de Carvalho <i>et al.</i> , 2008).	29
Figura 2.5 – Recalque imediato acumulado x carga (a) e recalque por adensamento x carga (b)	31
Figura 2.6 – Recalque imediato acumulado x carga (a) e recalque por adensamento x carga (b). (Camapum de Carvalho <i>et al.</i> , 2008).....	31
Figura 2.7- População e amostra (Assis <i>et al.</i> , 2002) – modificada.....	35
Figura 2.8 - Histograma	36
Figura 2.9 - Gráfico <i>Box plot</i>	37
Figura 2.10 - Arquitetura de um Sistema de Informações Geográficas (Câmara <i>et al.</i> , 1996).41	
Figura 2.11 –Profundidade do nível freático no período de estiagem (Alves, 2009).	42
Figura 2.12 - Variação do N_{SPT} com a profundidade (Alves, 2009).	43
Figura 2.13 - Carta de adequabilidade para construção de garagens subterrâneas (Alves, 2009).....	43
Figura 2.14 - Carta de uso e cobertura do solo (Roque, 2006).	44
Figura 2.15 - Carta de unidades geotécnicas (Roque, 2006).....	45
Figura 2.16 - Carta de áreas potenciais para a disposição de resíduos (Roque, 2006).	45
Figura 2.17 - Perfil do terreno na região do Vale del’Almone (Raspa <i>et al.</i> , 2008).	46
Figura 2.18 - Recalque diferencial observado entre edifícios residenciais (Raspa <i>et al.</i> , 2008).	47
Figura 2.19 - Correlação entre N_{SPT} , tensão vertical e ângulo de atrito (Abel, 2002).....	47
Figura 3.1 - Distribuição dos dados coletados de acordo com a fonte.	49
Figura 3.2 - Subdivisão dos dados oriundos do laboratório de geotecnia.....	51
Figura 3.3 - Subdivisão dos dados oriundos de publicações científicas.	54
Figura 3.4 - Quantidade de informações disponíveis de acordo com sua natureza.....	55
Figura 3.5 - Subdivisão dos dados oriundos das empresas.	56
Figura 3.6 - Organização do banco de dados produzido.	59
Figura 4.1 - Província Estrutural do Tocantins (Bizzi <i>et al.</i> , 2003).	62
Figura 4.2 - Geologia Simplificada do Distrito Federal (Freitas-Silva & Campos, 1996).	64
Figura 4.3 - Litoestratigrafia do Distrito Federal (Freitas-Silva e Campos, 1996).	66

Figura 4.4 - Mapa Geomorfológico do Distrito Federal (CPRM, 2002).....	68
Figura 4.5 - Mapa Pedológico do Distrito Federal (EMBRAPA, 1978, com modificações de Reatto <i>et al.</i> 2004).	69
Figura 4.6 - Subdivisões no domínio poroso (Adasa, 2011).	73
Figura 4.7 - Mapa Hidrogeológico do Distrito Federal (Adasa, 2011)	75
Figura 4.8 - Histograma com linha de tendência para os valores de N_{SPT} – Grupo Geral.	77
Figura 4.9 - Gráfico do tipo <i>Box plot</i> para valores de N_{SPT} – Grupo Geral.	78
Figura 4.10 - Histograma para os valores de coesão natural – Grupo Geral.....	79
Figura 4.11 - Gráfico do tipo <i>Box plot</i> para valores de coesão natural – Grupo Geral.....	79
Figura 4.12 - Histograma para os valores de ângulo de atrito natural – Grupo Geral.	80
Figura 4.13 - Gráfico do tipo <i>Box plot</i> para valores de ângulo de atrito natural – Grupo Geral.	80
Figura 4.14 - Histograma para os valores de N_{SPT} – Solos porosos lateríticos superficiais.....	85
Figura 4.15 - Gráfico do tipo <i>Box plot</i> para valores de N_{SPT} – Solos porosos lateríticos superficiais.	85
Figura 4.16 - Histograma para os valores de coesão natural (kPa) – Solos porosos lateríticos superficiais.	86
Figura 4.17 - Gráfico do tipo <i>Box plot</i> para valores de coesão natural (kPa) – Solos porosos lateríticos superficiais.....	87
Figura 4.18 - Histograma para os valores de ângulo de atrito natural – Solos porosos lateríticos superficiais.....	88
Figura 4.19 - Gráfico do tipo <i>Box plot</i> para valores de ângulo de atrito natural – Solos porosos lateríticos superficiais.....	88
Figura 4.20 - Relação obtida entre o índice de plasticidade medido pela Equação 4.1 e previsto.....	93
Figura 4.21 - Classificação das amostras a partir da Carta de Plasticidade de Casa Grande... ..	94
Figura 4.22 - Relação obtida entre o índice de plasticidade medido pela Equação 4.2 e previsto.....	95
Figura 4.23 - Relação obtida entre o limite de liquidez e o N_{SPT} pela Equação 4.3.....	96
Figura 4.24 - Variação entre ângulo de atrito natural em função do N_{SPT}	97
Figura 4.25 - Relação entre valores de coesão natural medidos pela Equação 4.4 e previstos.	98
Figura 4.26 - Relação entre valores de N_{SPT} medidos pela Equação 4.5 e previstos.	99
Figura 4.27 - Relação entre Limite de Liquidez e N_{SPT} medida pela Equação 4.3 e prevista.	100
Figura 4.28 - Relação entre índice de plasticidade e N_{SPT} medida pela e prevista.	100
Figura 4.29 - Histograma para os valores de coesão natural.....	103
Figura 4.30 - Gráfico do tipo <i>Box plot</i> para valores de coesão natural.	104

Figura 4.31 - Histograma para os valores de ângulo de atrito natural – Solos silto-arenosos.	105
Figura 4.32 - Gráfico do tipo <i>Box plot</i> para valores de ângulo de atrito natural.....	105
Figura 4.33 - Relação entre valores de índice de plasticidade medidos e previstos.	109
Figura 4.34 - Amostras inseridas na Carta de Plasticidade de Casagrande.....	109
Figura 4.35 - Relação entre valores de índice de vazios previstos pela Equação 4.7 e medidos.	110
Figura 4.36 Relação entre valores de ângulo de atrito natural previstos pela Equação 4.8 e medidos.	111
Figura 4.37 - Relação entre valores de coesão natural medidos e previstos em função da profundidade pela Equação 4.9.	112
Figura 4.38 - Relação entre valores de N_{SPT} medidos e previstos pela Equação 4.10.	113
Figura 4.39 - Relação entre valores de ângulo de atrito natural e N_{SPT} medida e prevista. ...	114
Figura 4.40 - Histograma para os valores de N_{SPT}	116
Figura 4.41 - <i>Box plot</i> para os valores de N_{SPT}	116
Figura 4.42 - Gráfico Q-Q para os valores de N_{SPT}	117
Figura 4.43 - Histograma para os valores de atrito unitário lateral.....	118
Figura 4.44 - <i>Box plot</i> para os valores de atrito unitário lateral.	118
Figura 4.45 - Gráfico Q-Q para os valores de atrito unitário lateral – Solos porosos lateríticos superficiais.	119
Figura 4.46 - Histograma para os valores de fator de Tensão de ruptura do solo.....	120
Figura 4.47 - <i>Box plot</i> para os valores de Tensão de ruptura do solo.	120
Figura 4.48 - Gráfico Q-Q para os valores de Tensão de ruptura do solo.	121
Figura 4.49 - Relação entre valores de Tensão de ruptura medidos e previstos pela Equação 4.11.....	122
Figura 4.50 - Relação entre valores de atrito unitário lateral medidos e previstos pela Equação 4.12.....	123
Figura 4.51 - Histograma para os valores de fator de N_{SPT} – Silte amarelo.....	125
Figura 4.52 - <i>Box plot</i> para os valores de N_{SPT} – Silte amarelo.	125
Figura 4.53 - Gráfico Q-Q para os valores de N_{SPT} – Silte amarelo.	126
Figura 4.54 - Histograma para os valores de atrito unitário lateral – Silte amarelo.....	127
Figura 4.55 - <i>Box plot</i> para os valores de atrito unitário lateral – Silte amarelo.....	127
Figura 4.56 - Gráfico Q-Q para os valores de atrito unitário lateral – Silte amarelo.	128
Figura 4.57 - Histograma para os valores de Tensão de ruptura – Silte amarelo.....	129
Figura 4.58 - <i>Box plot</i> para os valores de Tensão de ruptura – Silte amarelo.....	129
Figura 4.59 - Gráfico Q-Q para os valores de Tensão de ruptura – Silte amarelo.	130

Figura 4.60 - Relação entre valores de Tensão de ruptura medidos e previstos pela Equação 4.13.....	131
Figura 4.61 - Relação entre valores de atrito unitário lateral medidos e previstos pela Equação 4.14.....	132
Figura 4.62 - Histograma para os valores de N_{SPT} – Silte roxo.....	133
Figura 4.63 - <i>Box plot</i> para os valores de N_{SPT} – Silte roxo.....	133
Figura 4.64 - Gráfico Q-Q para os valores de N_{SPT} – Silte Roxo.....	134
Figura 4.65 - Histograma para os valores de coeficiente de atrito lateral.....	135
Figura 4.66 - <i>Box plot</i> para os valores de coeficiente de atrito lateral.....	135
Figura 4.67 - Gráfico Q-Q para os valores de coeficiente de atrito lateral.....	136
Figura 4.68 - Histograma para os valores de coeficiente de Tensão de ruptura.....	137
Figura 4.69 - <i>Box plot</i> para os valores de coeficiente de Tensão de ruptura.....	137
Figura 4.70 - Gráfico Q-Q para os valores de Tensão de ruptura.....	138
Figura 4.71 - Relação entre valores de Tensão de ruptura medidos e previstos.....	139
Figura 4.72 - Relação entre valores de atrito unitário lateral medidos e previstos pela Equação 4.16.....	140
Figura 4.73 - Relação entre carga de ruptura por atrito lateral medida e prevista pelas Equações 4.12, 4.14 e 4.16.....	141
Figura 4.74 - Relação entre carga de ruptura de ponta medida e prevista pelas Equações 4.11, 4.13 e 4.15.....	141
Figura 4.75 - Comparação entre os modelos gerados a partir dos dados de laboratório e gerados a partir de provas de carga.....	142
Figura 4.76 - Localização do terreno estudado.....	144
Figura 4.77 - Limites do terreno estudado.....	144
Figura 4.78 - Boletim de sondagem para a obra em questão.....	145
Figura 4.79 - Perfis de sondagem.....	146
Figura 4.80 - Distribuição esperada para os fatores de atrito lateral 5 m.....	148
Figura 4.81 - Distribuição esperada para os fatores de atrito lateral 10 m.....	149
Figura 4.82 - Distribuição esperada para os fatores de atrito lateral 15 m.....	150
Figura 4.83 - Distribuição esperada para os fatores de atrito lateral 20 m.....	151
Figura 4.84 - Distribuição esperada para tensões de ruptura 15 m.....	152
Figura 4.85 - Distribuição esperada para tensões de ruptura 17 m.....	153
Figura 4.86 - Distribuição esperada para tensões de ruptura 19 m.....	154
Figura 4.87 - Distribuição esperada para tensões de ruptura 21 m.....	155
Figura 4.88 - Localização da obra estudada.....	156
Figura 4.89 - Locação dos furos de sondagem.....	157

Figura 4.90 - Boletim de sondagem característico para a obra.	158
Figura 4.91 - Perfis de sondagem.	159
Figura 4.92 - Distribuição esperada para os fatores de atrito lateral 15 m.	161
Figura 4.93 - Distribuição esperada para os fatores de atrito lateral 20 m.	162
Figura 4.94 - Distribuição esperada para tensões de ruptura 17 m.	163
Figura 4.95 - Distribuição esperada para tensões de ruptura 19 m.	164
Figura 4.96 - Distribuição esperada para tensões de ruptura 21 m.	165

LISTA DE ABREVIACÕES

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
CODEPLAN	COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL
CPT	CONE PENETRATION TEST
CRN	CONSIGLIO NAZIONALE DE RICERCHE (ITALIA)
HRB	HIGHWAY RESEARCH BOARD
IGAG	ISTITUTO DI GEOLOGIA AMBIENTALE E GEOINGEGNERIA
MCT	MINIATURA; COMPACTADO; TROPICAL
NBR	NORMA BRASILEIRA DE REGULAMENTAÇÃO
SIG	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS
SPT	STANDARD PENETRATION TEST
SUCS	SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS
UnB	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

LISTA DE SÍMBOLOS

A	INTERCEPTO DO EIXO Y
a	INTERCEPTO DO EIXO Y DA EQUAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA
AP	ÁREA DE PONTA DE ESTACA
ATL	ATRITO UNITÁRIO LATERAL
BI	COEFICIENTE ANGULAR DA I-ÉSIMA VARIÁVEL
bi	COEFICIENTE ANGULAR DA I-ÉSIMA VARIÁVEL DA EQUAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA
c	COESÃO
cn	COESÃO NATURAL
cs	COESÃO SATURADA
e	ÍNDICE DE VAZIOS
F1 E F2	COEFICIENTES DE CORREÇÃO DAS RESISTÊNCIAS DE PONTA E LATERAL
G _s	MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS
IP	ÍNDICE DE PLASTICIDADE
K	COEFICIENTE DA CONVERSÃO DA RESISTÊNCIA DA PONTA DO CONE PARA N _{SPT}
K	NÚMERO DE VARIÁVEIS INDEPENDENTES EQUAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA
w _L	LIMITE DE LIQUIDEZ
NM	N _{SPT} PARA CADA ΔL
NP	N _{SPT} PRÓXIMO À PONTA DA ESTACA
N _{SPT}	PARÂMETRO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO ENSAIO SPT
P	PERÍMETRO DA ESTACA
Q _{RUP}	CAPACIDADE DE CARGA DE FUNDAÇÃO

r_2	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (GRAU DE CORRELAÇÃO ENTRE DUAS GRANDEZAS)
T_{rup}	TENSÃO DE RUPTURA DO SOLO
α	RELAÇÃO ENTRE AS RESISTÊNCIAS DE PONTA E LATERAL LOCAL DO ENSAIO DE CONE
B	PARÂMETRO DA EQUAÇÃO DE CAPACIDADE DE CARGA DE FUNDAÇÕES
ΔL	ESPESSURA DE CADA CAMADA DE SOLO EM METROS
σ_n	TENSÃO NORMAL
τ	TENSÃO DE CISALHAMENTO
ϕ	ÂNGULO DE ATRITO
ϕ_{NAT}	ÂNGULO DE ATRITO NATURAL DO SOLO

1- INTRODUÇÃO

1.1- MOTIVAÇÃO

A concentração demográfica nas grandes cidades é um fenômeno mundial. Estima-se que 85% da população viverão em zonas urbanas nas próximas décadas. Essa população demanda moradia, meios de transporte, empregos e serviços públicos em geral. A capacidade atual da indústria da construção civil no Brasil não é capaz de atender a demanda atual de moradia e infraestrutura, fundamentais para sustentar o crescimento econômico vivido nos últimos anos. Deve-se recordar que tem-se ainda que suprir um grande déficit em moradias, estradas, unidades produtoras de energia que se acumulou durante mais de uma década de instabilidade econômica. Para atender esta demanda é preciso uma resposta técnica da engenharia, que permita a otimização dos processos construtivos de maneira econômica e segura, viabilizando o atendimento das necessidades citadas. O subsolo, assim como o próprio solo, visto como material de construção ou como elemento de sustentação das construções, ainda é visto como uma grande incógnita na maioria dos projetos de engenharia, e, portanto a determinação precisa de suas propriedades é fundamental no sucesso de qualquer intervenção da Engenharia. Para tanto, técnicas de aquisição, processamento e espacialização de informações são de grande ajuda no entendimento das características do subsolo tanto no que tange às suas propriedades quanto no que diz respeito à sua variabilidade. Neste contexto, o presente trabalho contribui para o melhor conhecimento de subsolo de Brasília, especialmente no que se refere à capacidade de carga de fundações executadas em estacas, mas também para execução de escavações e obras de contenções em geral.

1.2- OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal a elaboração de um modelo geomecânico para os principais tipos de solos do Distrito Federal, possibilitando a previsão de suas principais propriedades geomecânicas, além de relacioná-las com diversas características de fácil obtenção nos ensaios rotineiros da geotecnia. Como objetivos específicos destacam-se:

- Construir um banco de dados georreferenciado com características obtidas em investigações geotécnicas e parâmetros hidráulicos e mecânicos obtidos em ensaios geotécnicos.
- Descrever a metodologia de elaboração de um modelo geomecânico.

- Identificar quais são as melhores relações entre atributos obtidos em ensaios de campo e laboratório além dos parâmetros do solo.
- Identificar a variabilidade de cada um dos principais parâmetros do solo de interesse para a engenharia geotécnica.
- Estudar a viabilidade de elaboração de modelos espaciais a partir de amostragens pontuais.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DAS ÁREAS URBANAS

Todos os centros urbanos do mundo utilizam, em maior ou menor grau, o espaço subterrâneo e conforme o crescimento das cidades e, conseqüentemente, o incremento de suas necessidades, as intervenções no subsolo vem sendo cada vez mais complexas. As obras geotécnicas em áreas urbanas que envolvem obras subterrâneas, escavações e fundações com grande capacidade de carga, cada vez mais demandam um melhor entendimento das condições do subsolo e a obtenção de informações geotécnicas para viabilizar projetos econômicos e seguros. Elas representam uma alternativa viável para a melhoria da qualidade de vida dentro dos espaços urbanos. Dentro desse contexto o conhecimento aprofundado da distribuição espacial dos materiais com diferentes propriedades geotécnicas permite que as obras subterrâneas sejam locadas e executadas com o menor custo e dentro do menor tempo possíveis. Várias cidades têm desenvolvido pesquisas no sentido de conhecer melhor as propriedades geotécnicas de seu subsolo. Tem-se como exemplos as cidades de Manaus, Curitiba, Laulane (Moçambique), São Paulo, Brasília, Roma, entre outras. De modo geral a metodologia adotada nestes trabalhos é a coleta pontual de informações e a posterior espacialização com base em alguma característica bem definida, como as unidades geomorfológicas por exemplo. Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se como referência todos estes trabalhos, entretanto são apresentados aqueles em que o pesquisador verificou maior similaridade.

2.1.1- BRASÍLIA – BRASIL

Brasília foi planejada para abrigar, na época de sua criação, uma população de cerca de 500 mil habitantes e projetava-se em cerca de 800 mil o número de moradores para o início do século XXI, entretanto estima-se que circulem, atualmente, na região mais de 2 milhões de pessoas graças ao grande crescimento das cidades satélites. Essa realidade trouxe para a cidade problemas comumente encontrados em todas as grandes cidades brasileiras, planejadas ou não, especialmente os problemas relacionados com o transporte.

Na tentativa de amenizar o problema o Governo do Distrito Federal anunciou a expansão do sistema metroviário e autorizou a construção de garagens subterrâneas na cidade. Alves (2009) apresentou um estudo sobre a utilização do espaço subterrâneo da cidade de Brasília para a construção de garagens e do metrô. Nessa nova realidade as técnicas de mapeamento

geotécnico e geoprocessamento que envolvam aquisição, armazenamento, espacialização e manejo de dados coletados do subsolo tornam-se cada vez mais necessárias e presentes no dia a dia da engenharia.

2.1.2- MANAUS - BRASIL

Segundo Roque (2006), o município de Manaus apresenta diversos problemas socioambientais relacionados ao uso e ocupação não planejados do solo. O rápido e intenso crescimento populacional pelo qual passou a região, graças aos incentivos governamentais para a ocupação da Amazônia, aliado à falta de recursos para atender esse crescimento foram os principais causadores do problema.

Diante disso o autor aponta o mapeamento geotécnico como uma importante ferramenta no reconhecimento do meio físico e capaz de direcionar as ações humanas, economizando recursos valiosos.

Para tanto o autor elaborou uma série de cartas de zoneamento geotécnico, baseadas em técnicas de avaliação do terreno por meio de fotointerpretação dos produtos de sensoriamento remoto, da topografia bem como em relatórios de sondagens de simples reconhecimento além de ensaios de caracterização geotécnica.

2.1.3- ROMA - ITÁLIA

Vários pesquisadores têm trabalhado no sentido de desenvolver técnicas de obtenção e processamento de informações com o objetivo de conhecer melhor os materiais constituintes deste espaço. Neste contexto pode-se citar, por exemplo, a experiência de Roma.

A cidade de Roma está assente sobre uma região geologicamente complexa, especialmente a camada aluvionar que serve de suporte para inúmeros sítios arqueológicos, monumentos, locais históricos e que pela qual transcorrerão futuras linhas de metrô (Raspa *et al.*, 2008).

Os autores observaram que, dentre os vários trabalhos publicados sobre risco geológico, apenas uma pequena quantidade busca determinar e especificar zonas de risco, especialmente em zonas urbanas, onde os efeitos de eventos catastróficos são potencializados pela concentração demográfica e pela deficiência na administração do espaço urbano.

Para tanto, o *Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG)* do *Italian Consiglio Nazionale delle Ricerche (CRN)* coordenou um grupo de pesquisa multidisciplinar com o objetivo de desenvolver um modelo integrado do subsolo romano, tendo em vista a determinação do risco geológico relativo às camadas de fundações da cidade.

2.1.4- LAULANE – MOÇAMBIQUE

Moçambique, país situado na região austral do continente africano sofreu por 16 anos com a guerra civil, que só teve seu fim no ano de 1992, iniciou-se então o processo de reconstrução do país com grande demanda por infraestrutura e especialmente de moradia.

Maputo, por sua posição estratégica e *status* de capital, abrigou o maior número de refugiados do país e passou por graves problemas de déficit habitacional. O governo local optou pela ocupação imobiliária da região de Laulane, sobre a qual não se tinha nenhum estudo geológico geotécnico abrangente.

Abel (2002) fornece subsídios para a construção de residências unifamiliares e multifamiliares a partir da criação de uma carta de capacidade de carga para fundações rasas. Esta carta é baseada em análises estatísticas e geoestatística de ensaios de campo e de laboratório da região.

Para a realização do estudo inicialmente foi criado um banco de dados, que contou com informações de ensaios de campo do tipo SPT e CPT além de ensaios laboratoriais de cisalhamento direto, limites de consistência, massa específica aparente e granulometria.

2.2- AQUISIÇÃO DE DADOS

A busca de respostas para a determinação das características e, conseqüentemente, do comportamento do solo depende da obtenção de informação. Espera-se que as informações consigam representar a unidade estudada, para tanto, deve-se adquirir dados de qualidade e em quantidade suficiente.

2.2.1- BRASÍLIA - BRASIL

No caso de Brasília Alves (2009) utilizou a base cartográfica fornecida pela Codeplan (Companhia de Planejamento do Distrito Federal) em uma escala de 1:2.000, com curvas de nível com equidistância em 1 m.

Os dados necessários para a realização do trabalho foram adquiridos na Universidade de Brasília, a partir de um banco de dados desenvolvido por Silva (2007) e acrescido de dados provenientes de 285 laudos de sondagens obtidos com empresas da região. A autora determinou critérios de seleção dos dados levantados, estipulando limites mínimos e máximos para valores de N_{SPT} a serem considerados, além de proporcionar uma distribuição regular de informações ao longo de toda a área de estudo. Como consequência foram criados dois grupos de informações, um utilizado na criação dos modelos e outro para elaboração de gráficos de dispersão para avaliar a variação deste.

2.2.2- MANAUS – BRASIL

Roque (2006) levantou junto aos órgãos governamentais, empresas, universidades e publicações científicas todos os dados disponíveis e relevantes para a área de estudo, mapas preexistentes, sondagens, modelos geomorfológicos regionais entre outros. Após a coleta das informações, as mesmas passaram por um processo de seleção e foram então organizadas, compondo um banco de dados.

2.2.3- ROMA – ITÁLIA

Para a realização do trabalho o grupo de trabalho reuniu cerca de 8.000 informações de várias naturezas (sondagens, ensaios de caracterização entre outros) e provenientes de três fontes principais: bibliografia, entidades e empresas. A Figura 2.1 mostra a participação relativa de cada uma dessas fontes na composição do banco de dados.

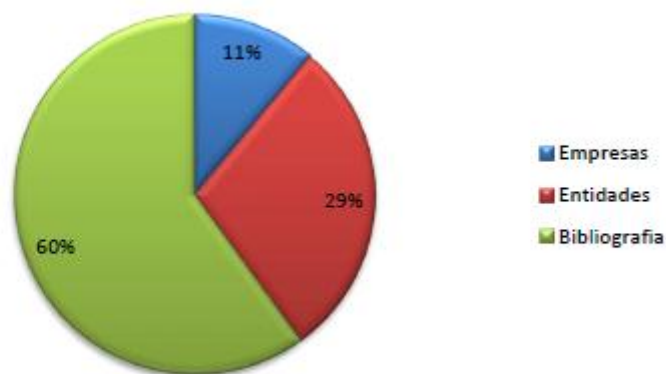


Figura 2.1 - Origem e distribuição das fontes de dados (modificado de Raspa *et al.*, 2008).

2.2.4- LAULANE – MOÇAMBIQUE

Abel (2002) realizou um levantamento bibliográfico das informações relevantes para a área de estudo, obtendo mapas topográficos e geológicos na escala 1:50.000. Em seguida, partiu para os dados do Laboratório de Engenharia de Moçambique, onde se obteve todas as informações geotécnicas disponíveis. O autor dispunha, ao todo, de 43 sondagens a percussão, 37 sondagens do tipo CPT e 23 valores de ângulo de atrito e coesão. Os ensaios do tipo SPT foram realizados a cada 1,5 m, enquanto que os do tipo CPT a cada 0,2 m. Os ensaios de resistência foram realizados nas profundidades de 3, 6 e 9 metros. As informações foram reunidas e digitalizadas em forma de banco de dados na forma de planilhas eletrônicas, posteriormente foram convenientemente organizadas para a sua utilização em *softwares* de geoprocessamento.

2.3- METODOLOGIA DE TRABALHO

O processo de organização e tratamento de dados é responsável pela geração dos produtos finais e depende, portanto, da natureza das informações obtidas e das finalidades específicas do trabalho. O trabalho de Raspa *et al.*, 2008 é utilizado para ilustrar uma sequência específica de desenvolvimento de um trabalho afim. Para a elaboração do modelo do subsolo romano o grupo de trabalho extraiu do banco de dados todas as informações necessárias para confrontar os estudos progressos sobre a região, revisando os modelos preexistentes. Com o modelo estratigráfico-estrutural revisado partiu-se para o desenvolvimento do modelo geológico que envolve a litologia, estratigrafia e tectônica. A partir do modelo geológico elaboraram-se os modelos: geotécnico, hidro geológico e geofísico. A totalidade de modelos criados possibilita a caracterização completa do subsolo da região do ponto de vista geológico-geotécnico e permite a compreensão dos fenômenos observados na cidade. A Figura 2.2 apresenta um esquema de metodologia utilizado para a criação do modelo integrado do subsolo de Roma.

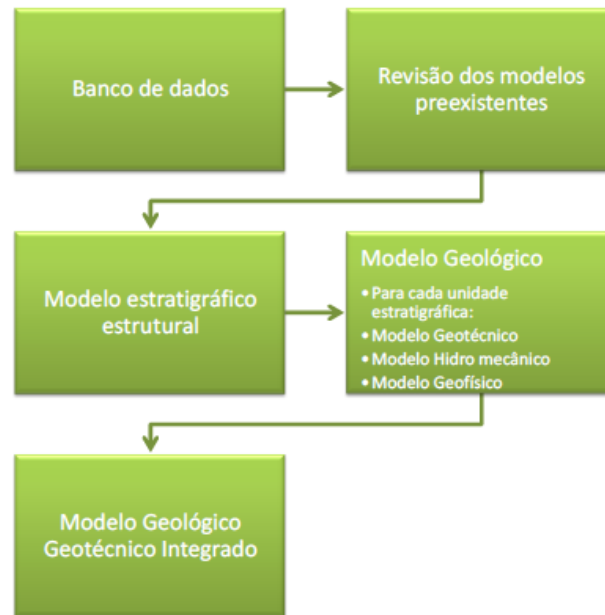


Figura 2.2 - Metodologia de trabalho para o Modelo Integrado do Subsolo de Roma (modificado de Raspa *et al.*, 2008).

Observa-se que o trabalho desenvolvido por Raspa *et al.* (2008) contempla a revisão completa dos modelos estratigráfico e estrutural e propõe modelos geotécnico, hidro mecânico e geofísico para cada unidade geológica descrita. É importante dizer que o trabalho desenvolvido para Roma apresenta suas particularidades. Particularidades estas que são inerentes à realidade local, disponibilidades de determinadas naturezas de informações e finalidade específica. No contexto do Distrito Federal pode-se dizer que, assim como em Roma, dispõe-se de uma quantidade bastante grande de sondagens do tipo SPT. Entretanto, outro ensaio de campo vem se destacando e se apresentando muito promissor no que tange a determinação do comportamento mecânico do solo. O referido ensaio é a prova de carga estática e detalhes sobre sua análise são apresentado no capítulo seguinte.

2.4- ANÁLISE DE ENSAIOS DE PROVA DE CARGA

Este capítulo apresenta o método proposto por Camapum de Carvalho *et al.* (2008) para análise de ensaios de prova de carga estática. Método este adotado no desenvolvimento desta dissertação. As provas de carga são ensaios de campo realizados em fundações. Elas têm o objetivo de avaliar o comportamento carga x deslocamento das mesmas. Segundo a NBR 12131 (ABNT, 2006) a prova de carga consiste basicamente em aplicar esforços estáticos crescentes à fundação e registrar os deslocamentos correspondentes. Ainda segundo a Norma, os resultados da prova de carga devem ser apresentados em relatório, com as seguintes informações:

- Descrição geral do ensaio;
- Tipo e características da estaca ensaiada;
- Dados de instalação da estaca;
- Referência aos dispositivos de aplicação de carga e de medição das deformações;
- Ocorrências excepcionais durante o ensaio;
- Tabelas das leituras tempo-recalque e carga recalque de todos os estágios;
- Gráfico contendo a relação carga x deslocamento.

Segundo Camapum de Carvalho *et al.* (2008) as provas de carga estáticas são analisadas, na maioria das vezes, com base no gráfico carga x recalque. Quando a ruptura não é atingida, utilizam-se os métodos de estimativa da capacidade de carga, sendo o de Van der Veen (1953) citado por Camapum de Carvalho *et al.* (2008) o mais utilizado. Apesar de quase sempre sobrestimar a capacidade de carga para os solos do Distrito Federal. Uma maneira de melhorar a definição do ponto onde se iniciam as deformações plásticas significativas na curva carga x recalque, é o traçado da curva com a carga em escala logarítmica. Tratamento semelhante ao adotado no ensaio de adensamento para definição da pressão de pré-adensamento pelo método de Casagrande (Figura 2.3) É preciso, no entanto, cuidado, pois a escala logarítmica induz o aparecimento de uma curva.

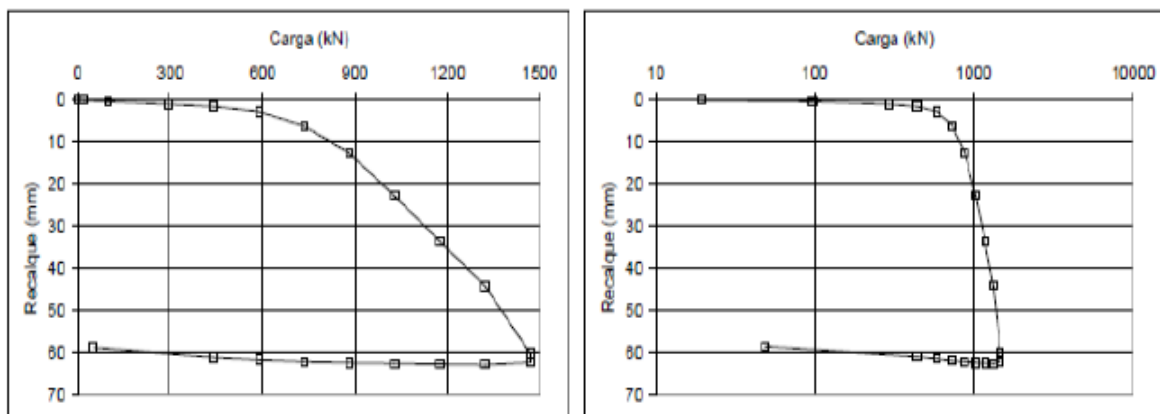


Figura 2.3 – Curvas carga x recalque com a carga em escala aritmética (a) e logarítmica (b) (Camapum de Carvalho *et al.*, 2008).

O método de análise de ensaios de provas de carga muitas vezes apresenta curvas com resultados pouco dispersos e outras vezes apresentam curvas com grande dispersão. Isso reflete a interferência dos tempos de leitura que podem ser um pouco maiores ou menores que o tempo real de estabilização. Que se deve ao fato de que os intervalos de tempo fixados para as leituras e as frequentes interferências das variações térmicas diárias influenciam nas leituras. Para resolver o problema pode-se trabalhar com o coeficiente de recalque ou de deslocamento, extraído da parte final linear das curvas de recalque (mm) em função do tempo em escala logarítmica (Figura 2.4a). Obtendo-se então o gráfico mostrado na Figura 2.4b, em que o primeiro ponto de inflexão corresponderia à carga de início das deformações plásticas oriundas da interação fuste-solo. Sabe-se, obviamente, que a interação fuste solo não cessa com a plastificação do solo, ela apenas passa a um valor residual e ganha caráter secundário no conjunto de interações. Essa ideia surgiu da clássica de interpretação dos ensaios de adensamento quanto à determinação do coeficiente de adensamento secundário, com a diferença de que aqui, se trabalha com o recalque medido em milímetros e não em termos de deformação específica ou da variação do índice de vazios como utilizado naquele caso. No método proposto, o ponto de encontro do primeiro com o segundo trecho da curva carga x coeficiente de recalque, define o início das deformações plásticas, fim do regime pseudoelástico, do sistema fuste-solo. O segundo ponto de inflexão, encontro do segundo com o terceiro trecho da curva, correspondem ao início das deformações plásticas do solo suporte na ponta da estaca.

Devido à linearidade da parte final das curvas recalque x tempo em escala logarítmica, pode-se ainda, a partir desse gráfico, estimar os recalques em longo prazo, que poderão ser significativos ao ultrapassarem o que se convencionou chamar de pontos de plastificação.

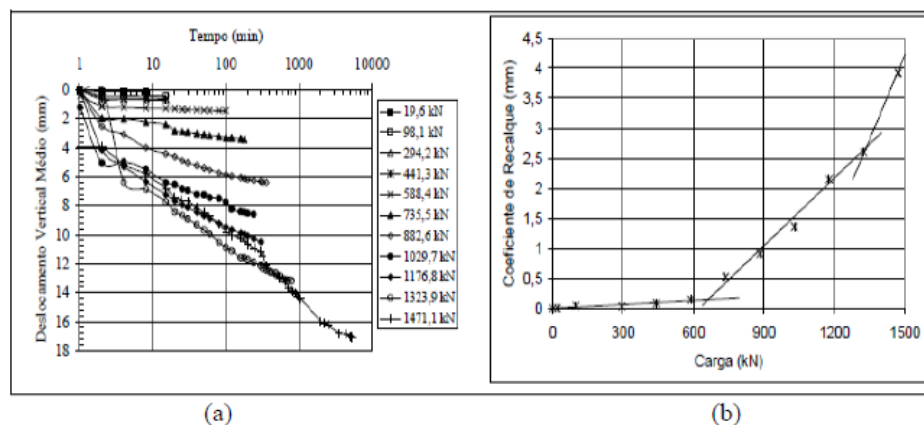


Figura 2.4 – Curvas tempo x deslocamento vertical (a) e carga x coeficiente de recalque (b). (Camapum de Carvalho *et al.*, 2008).

Posteriormente ao se realizar provas de carga em solos com manto de intemperismo menos espesso e maior penetração da fundação no residual jovem, sentiu-se necessidade de melhor definir qual seria a capacidade de carga oriunda do atrito lateral e qual seria a proveniente da capacidade de carga do solo na ponta das fundações em estaca ou tubulão, ou pelo menos quando esta começaria a ser mobilizada. Propôs-se então analisar os resultados levando-se em conta a resposta que o solo daria quando mobilizado pela estaca. Nesse sentido, considera-se que quando se aplica uma determinada carga ao elemento estrutural de fundação, ocorre a mobilização do solo na interface com a fundação o que ocasiona um deslocamento imediato no contato. Em seguida, ao entrar em equilíbrio a interface, começa-se a mobilizar o maciço nas proximidades da estaca, em um processo de consolidação que, no domínio elástico ou pseudoelástico, principalmente quando o solo encontra-se em condição não saturada, estabiliza até os trinta minutos de ensaio. Camapum de Carvalho, *et al.* (2008) consideram como divisor entre os dois estágios o tempo de ensaio igual a quatro minutos. Esse intervalo de tempo correspondente ao recalque imediato pode até eventualmente aumentar com o nível de carga e com o aumento da diferença de carga entre dois estágios subsequentes.

Observa-se na Figura 2.4a que até quatro minutos o descolamento é abrupto nas curvas carga x recalque dos solos estudados, daí ser esse o intervalo de tempo considerado. Considera-se então que o recalque imediato acumulado reflete o comportamento imediato na interface (Figura 2.5a) e o de maior prazo, também acumulado, o comportamento do solo por adensamento em termos de maciço mobilizado pela estrutura de fundação (Figura 2.5b). O gráfico da Figura 2.5(b) é de difícil utilização tendo em vista a variação do tempo de estabilização de um estágio de carga para outro, mas o surgimento de uma primeira inflexão em ambas as curvas com o aumento do recalque, estaria refletindo o início da mobilização da ponta da estaca ou da base do tubulão, com a contribuição lateral estando em seu limite de mobilização. Para ilustrar essa consideração são mostrados na Figura 2.6a os resultados da prova de carga em termos de recalque imediato e por adensamento. Verifica-se nessa figura que o primeiro ponto de inflexão corresponde à mesma carga obtida da Figura 2.6b em termos de coeficiente de recalque (aproximadamente 750 kN). Valor semelhante também é encontrado entre o segundo ponto de inflexão (Figura 2.5a) e aquele oriundo das curvas de recalque acumulado por adensamento (Figura 2.5b).

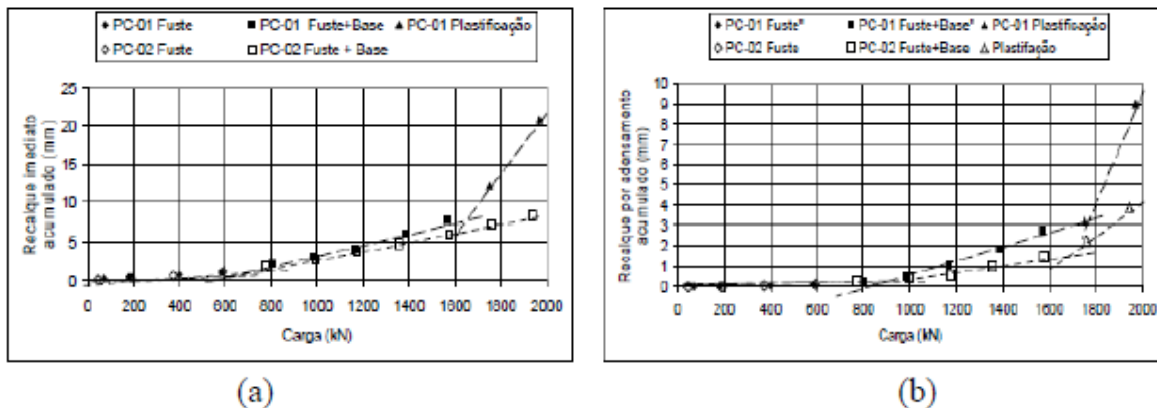


Figura 2.5 – Recalque imediato acumulado x carga (a) e recalque por adensamento x carga (b)

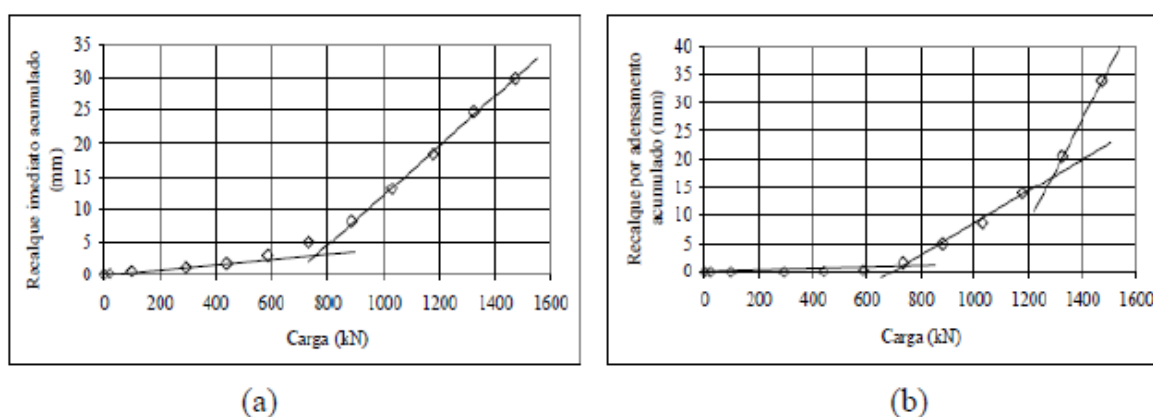


Figura 2.6 – Recalque imediato acumulado x carga (a) e recalque por adensamento x carga (b). (Camapum de Carvalho *et al.*, 2008).

Em resumo, Camapum de Carvalho *et al.* (2008) mostraram que os resultados de provas de carga podem trazer outras informações importantes para o projeto como, por exemplo, saber a que nível de carga a ponta da estaca ou a base do tubulão começa a ser mobilizada; a partir de que nível de carga todo o conjunto fuste-base começa a mobilizar deformações plásticas importantes no solo suporte; ou ainda, separar as contribuições da base daquela do fuste. Conhecer estas fronteiras é relevante para que se defina a carga de trabalho a ser adotada considerando-se a capacidade de carga, mas também as características de deformabilidade do conjunto solo fundação. É importante ter em mente, que ao adentrar na zona de plastificação o risco de grandes recalques é sempre algo a se pensar, e deve ser levado em consideração.

2.5- DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES

O dimensionamento das fundações poder ser feito através de métodos empíricos, práticos e teóricos. Os métodos empíricos são os mais comumente utilizados e foram adotados neste trabalho.

A determinação da capacidade de carga *in situ* a partir das provas de carga possibilita não apenas uma maior segurança para a obra, mas também permite verificar a adequabilidade dos modelos de previsão de capacidade de carga. Esta seção apresenta os principais métodos empíricos utilizados no projeto e dimensionamento de fundações profundas. Cita-se, ainda, a possibilidade de se projetar fundações através de métodos práticos e teóricos. Coeficientes determinados estatisticamente e aplicados ao estabelecimento de um modelo são afetados pelos procedimentos de ensaio. Segundo Schnaid (2000), a utilização de métodos e estimativas da capacidade de carga estabelecidos em condições diferentes, como a transposição para a América do Sul de métodos europeus ou americanos baseados em SPT ou cone, devem ser validados localmente por provas de carga com resultados conclusivos. Outros pesquisadores ainda afirmam que esta experiência deve ser adotada até mesmo para regiões onde se deseja aplicar tais equações empíricas. Schnaid (2000) destaca alguns aspectos a serem considerados quando da aplicação dos métodos da correlação direta:

- Tipo de estaca
- Tipo de solo
- Profundidade
- Penetração da ponta da estaca na camada resistente

2.5.1- MÉTODO AOKI VELOSO

Este método foi desenvolvido a partir de correlações entre o ensaio de penetração estática (cone) e a dinâmica (SPT). Para tanto, utiliza-se o coeficiente K e α (alfa), que representam respectivamente o coeficiente da conversão da resistência da ponta do cone para N_{SPT} e a relação entre as resistências de ponta e lateral local do ensaio de cone (Vargas, 1997). De acordo com o método Aoki & Veloso, a expressão que avalia a capacidade de carga última, ou de ruptura, da estaca é:

$$Q_{rup} = a_p \times \frac{KN_p}{F_1} + P \times \sum \alpha \times \frac{KN_m}{F_2} \times \Delta L \quad (2.1)$$

Sendo: a_p = área de ponta de estaca;

P = perímetro da estaca;

ΔL = espessura de cada camada de solo em metros;

$N_p = N_{SPT}$ próximo à ponta da estaca; $N_m = N_{SPT}$ para cada ΔL .

F1 e F2 = são fatores de correção das resistências de ponta e lateral.

Os valores estão apresentados na Tabela 2.1. As variáveis K e α são dependentes do tipo de solo, e os seus valores estão apresentados Na Tabela 2.2.

Tabela 2.1 – Valores atribuídos às variáveis F1 e F2 (Veloso & Salamoni *apud* Schnaid, 2000).

Tipo de estaca	F1	F2
Franki	2,5	5
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada de concreto	1,75	3,5
Escavada	3,5	7,0

Tabela 2.2 – Valores atribuídos às variáveis K e α (Schnaid, 2000)

Tipo de Solo	K (MPa)	α (%)
Areia	1,00	1,4
Areia siltosa	0,80	2,0
Areia silto-argilosa	0,70	2,4
Areia argilosa	0,60	3,0
Areia argilo-siltosa	0,50	2,8
Silte	0,40	3,0
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte areno-argiloso	0,45	2,8
Silte argiloso	0,23	3,4
Silte argilo-arenoso	0,25	3,0
Argila	0,20	6,0
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila areno-siltosa	0,30	2,8
Argila siltosa	0,22	4,0
Argila silto-arenosa	0,33	3,0

2.5.2- MÉTODO DECOURT & QUARESMA (1978)

Conforme Decourt & Quaresma (1978) citado por Schinaid (2000), o método apresenta um processo expedito para a estimativa de capacidade de carga de ruptura baseado exclusivamente em resultados de ensaios SPT. Este método foi inicialmente desenvolvido para estacas pré-moldadas de concreto e posteriormente ampliado para outros tipos de estaca. O multiplicador presente na equação 2.2 é utilizado para transformar a carga de ruptura para kN como se vê:

$$Q_{rup} = \alpha K N_p a_p + P \beta \sum 10 \left(\frac{N_m}{3} + 1 \right) \Delta L \quad (2.2)$$

Onde:

K = coeficiente que relaciona a resistência de ponta com o valor N_p em função do tipo de solo.

Os valores determinados experimentalmente estão dispostos na Tabela 2.3. Os valores atribuídos aos coeficientes α e β (citados apenas em 1996), para os tipos de estacas, estão apresentados nas Tabelas 2.4 e 2.5.

Tabela 2.3 – Valores atribuídos à variável K (Fonte: Décourt, 1996)

Tipo de solo	K (kN/m ²)
Argilas	120
Siltos argilosos (solos residuais)	200
Siltos arenosos (solos residuais)	250
Areias	400

Tabela 2.4 – Valores atribuídos ao coeficiente α em função do tipo de estaca e do tipo de solo. (Fonte:)

Solo/ estaca	Cravada	Escavada (em geral)	Escavada (com bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada (alta pressão)
Argilas	1,0	0,85	0,85	0,30	0,85	1,0
Solos Intermediários	1,0	0,60	0,60	0,30	0,60	1,0
Areias	1,0	0,50	0,50	0,30	0,50	1,0

Tabela 2.5 – Valores atribuídos ao coeficiente β em função do tipo de estaca e do tipo de solo. (Fonte: Décourt, 1996)

Solo/ estaca	Cravada	Escavada (em geral)	Escavada (com bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada (alta pressão)
Argilas	1,0	0,80	0,90	1,00	1,50	3,0
Solos Intermediários	1,0	0,65	0,75	1,00	1,50	3,0
Areias	1,0	0,50	0,60	1,00	1,50	3,0

2.6- ESTATÍSTICA

O processamento das informações reunidas deve-se dar com uso da estatística. Assis *et al.* (2002) diz que a estatística tem se transformado em um poderoso instrumento em quaisquer processos que envolvam o estudo da variabilidade. A estatística pode ser dividida em:

- Amostragem e Planejamento de Experimentos
- Coleta de dados;
- Estatística descritiva
- Organização, apresentação e sintetização dos dados;
- Estatística Inferencial
- Conjunto de métodos assumidos em situações onde existam incertezas

2.6.1- ESTATÍSTICA DESCRITIVA

É a parte da estatística que procura descrever e analisar um grupo de observações conhecido por amostras. As observações são expressas em forma de tabelas, gráficos ou curvas.

2.6.1.1- POPULAÇÃO E AMOSTRA

População é o maior conjunto tomado como referência na observação de um dado fenômeno.

Amostra é qualquer subconjunto não vazio de uma população, com exceção da própria população. A Figura 2.7 ilustra os conceitos de amostra e população.

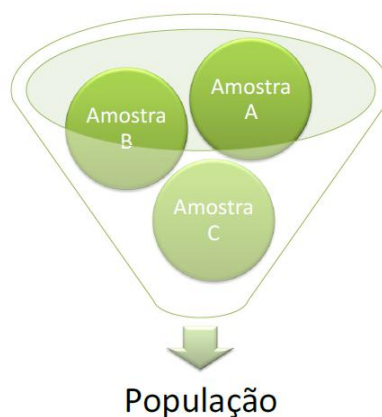


Figura 2.7- População e amostra (Assis *et al.*, 2002) – modificada

2.6.1.2- HISTOGRAMAS

É muito utilizado na representação gráfica de dados agrupados em classes. É um conjunto de barras obtidas com a relação entre classes e suas respectivas frequências de ocorrência. A Figura 2.8 ilustra um histograma.

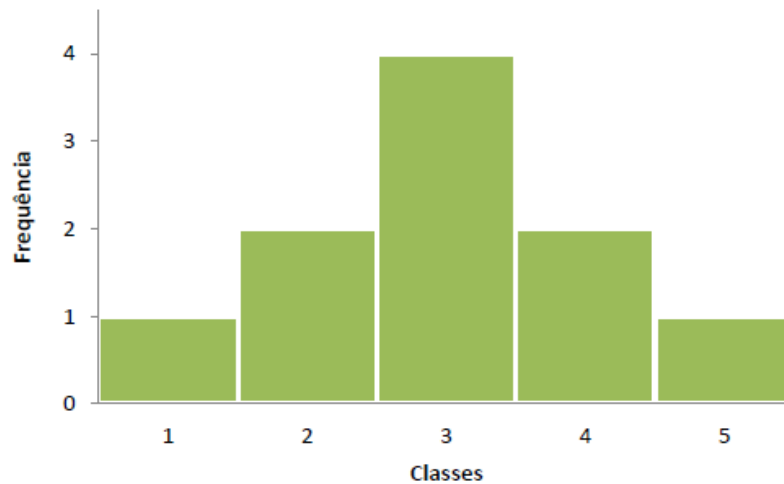


Figura 2.8 - Histograma

No eixo horizontal são dispostos os limites das classes segundo as quais os dados foram agrupados, enquanto que o eixo vertical corresponde às frequências absolutas ou relativas das mesmas.

Quando os dados são distribuídos em classes de mesma amplitude, todas as colunas apresentam bases iguais com alturas variando em função das suas frequências absolutas ou relativas.

No caso de dados agrupados em classes de dimensões diferentes, a área de cada coluna não é proporcional à sua altura.

2.6.1.3- BOX PLOT

O gráfico *Box plot* é uma análise gráfica que utiliza cinco medidas estatísticas: valor mínimo, valor máximo, mediana, primeiro e terceiro quartil da variável quantitativa.

Este conjunto de medidas oferece a ideia da posição, dispersão, assimetria, caudas e dados discrepantes. A posição central é dada pela mediana e a dispersão pelo desvio interquartil.

As posições relativas dos quartis dão uma noção da assimetria da distribuição. Os comprimentos das caudas são dados pelas linhas que vão do retângulo aos valores atípicos.

A Figura 2.9 apresenta um exemplo de gráfico *Box plot*.

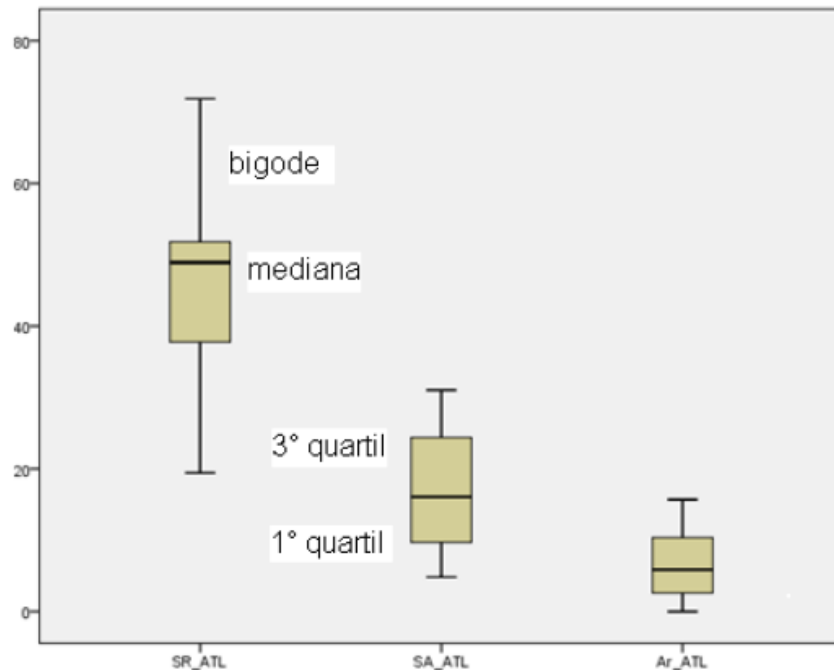


Figura 2.9 - Gráfico *Box plot*.

2.6.1.4- GRÁFICO QQ – QUANTIL-QUANTIL

O gráfico quantil-quantil é utilizado para verificar se dois conjuntos de dados pertencem à mesma distribuição de probabilidades. Nestes gráficos os pontos são formados por quantis amostrais e se os mesmos se alinharem em uma reta com inclinação igual a 1 as distribuições das amostras podem ser consideradas iguais.

A forma mais utilizada ocorre quando os dados $y_1 \dots, y_n$ constituem observações independentes de uma variável aleatória contínua Y , com uma função de distribuição conhecida pela Equação 2.3.

$$F = [(y - \mu)/\sigma] \quad (2.3)$$

Os valores amostrais $y_1 \dots, y_n$ são plotados em relação aos quantis pela Equação 2.4

$$x_i = F^{-1}(i/(n + 1)) \quad (2.4)$$

Se o gráfico resultante mostrar que o conjunto de valores $x_1 \dots, x_n$ e $y_1 \dots, y_n$ formar uma reta pode-se entender como uma validação empírica da distribuição suposta para os dados e os valores do intercepto e inclinação dessa reta.

2.6.2- REGRESSÃO LINEAR

É o nome da técnica de ajuste de um modelo matemático a um conjunto de dados de diversas variáveis, sendo uma variável dependente e as demais independentes.

A regressão pode ser simples, quando existe apenas uma variável independente, ou múltipla, quando existem mais de uma variável independente.

2.6.2.1- REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

A regressão múltipla envolve três ou mais variáveis. Sendo uma única variável dependente e duas ou mais variáveis independentes.

A finalidade das variáveis independentes adicionais é melhorar a capacidade de predição do modelo.

A incorporação de mais variáveis na regressão também atua na redução dos resíduos e aumenta a força dos testes de significância.

O ideal é incluir no campo de variáveis independentes somente aquelas que realmente influenciam na variável dependente.

A Equação 2.5 da apresenta a forma genérica de uma regressão linear múltipla.

$$Y_c = a + b_1 x X_1 + b_2 x X_2 + \dots + b_k x X_k \quad (2.5)$$

Onde:

a = intercepto do eixo y ;

b_i = coeficiente angular da i -ésima variável;

k = número de variáveis independentes.

É importante dizer que enquanto uma regressão simples de duas variáveis resulta na equação de uma reta, um problema de três variáveis implica num plano, e um problema de k variáveis implica em um hiperplano.

2.6.3- CORRELAÇÃO

Em geotecnia o interesse em se determinar o valor de uma grandeza partindo-se de outra é muito grande. Seja por que esta apresenta facilidade na medida ou porque antecede no tempo. Para tanto é preciso associar grandezas que se relacionam entre si.

Correlacionar significa verificar a existência e o grau de relação entre as variáveis de um problema. Quando se trata de duas variáveis apenas trata-se de correlação simples, quando se trata de mais de duas variáveis trata-se de correlação múltipla. Várias são as correlações possíveis, a mais simples é a linear. Em todas as modalidades de correlação são possíveis três situações básicas:

- Correlação total: Quando as grandezas são perfeitamente correlacionáveis
- Correlação parcial : Quando o grau de correlação está entre 0 e 1
- Incorrelacionáveis: Quando o grau de correlação é igual a 0

O grau de correlação entre duas grandezas é quantificado pelo coeficiente de correlação “ r^2 ”. A Tabela 2.6 apresenta as análises pertinentes a este coeficiente.

Tabela 2.6 - Interpretação para os valores de coeficiente de correlação r^2 (Assis *et al.*, 2002).

Interpretação	Valor de r^2
Dependência insignificante	0,00 a 0,20
Dependência fraca	0,21 a 0,40
Dependência marcante	0,41 a 0,70
Dependência forte	0,71 a 1,00

2.7- SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO – SIG

Após a coleta, organização e tratamento estatístico dos dados, pode-se desenvolver os produtos finais de um trabalho. Para tanto se deve criar um SIG, onde as informações são sistematicamente associadas com suas respectivas localizações espaciais.

2.7.1- DEFINIÇÕES

Aronoff (1989) *apud* Assad (1998) define SIG como um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados.

Burroughs (1986) *apud* Assad (1998) define SIG como um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real.

Cowen (1988) *apud* Assad (1998) define SIG como sendo um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas.

De acordo com Assad (1998) o termo Sistema de Informações Geográficas (SIG) se refere a temas que efetuam tratamentos computacionais a dados geográficos. O objetivo básico de um SIG é armazenar a geometria dos objetos geográficos associados com seus respectivos atributos e as formas de representação gráfica dos mesmos e pode ser usado das seguintes maneiras:

- Ferramenta para produção de mapas;
- Suporte para análise espacial de fenômenos
- Banco de dados geográficos.

2.7.2- ESTRUTURA DE UM SIG

Segundo Assad (1998), de maneira geral, pode-se identificar as seguintes estruturas fundamentais em um SIG:

- Interface com o usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Consulta, análise espacial e processamento de imagens;
- Visualização e plotagem
- Armazenamento e recuperação de dados.

Os componentes se relacionam em níveis hierárquicos, sendo que a interface define como o sistema é operado e controlado e os demais níveis ocorrem o processamento dos dados espaciais e por fim a gerência do banco de dados.

2.7.3- ANÁLISE ESPACIAL

O principal objetivo de um SIG é fornecer ferramentas computacionais para que seja possível a determinação da evolução espacial de determinado fenômeno, bem como suas inter-relações. A Figura 2.10 apresenta a arquitetura de um SIG.

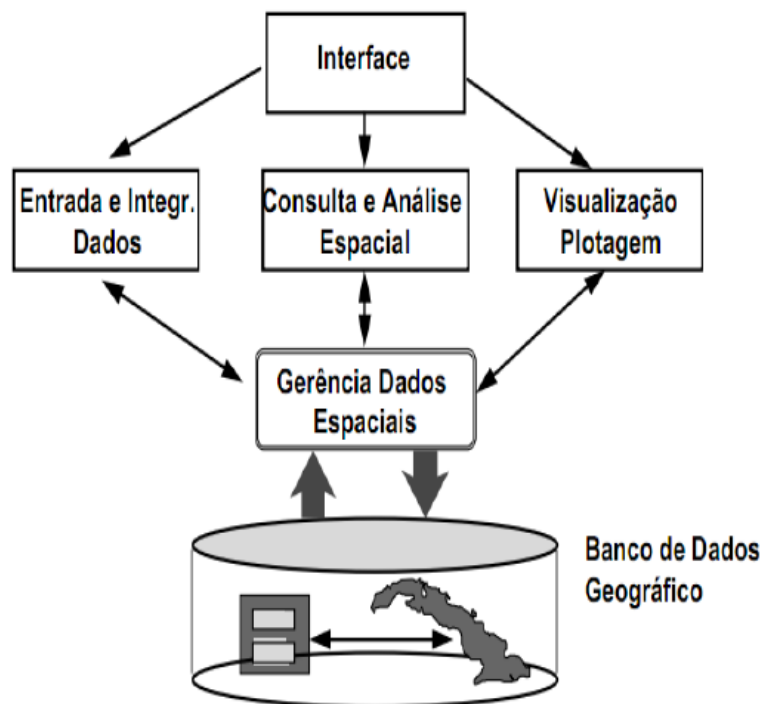


Figura 2.10 - Arquitetura de um Sistema de Informações Geográficas (Câmara *et al.*, 1996).

2.8- MODELOS ESPACIAIS

Após as etapas de coleta, interpretação, tratamento estatístico e organização espacial dos dados chegam-se aos modelos desejados.

2.8.1- BRASÍLIA - BRASIL

Alves (2009) elaborou modelos tridimensionais de sua área de estudo que descrevem a variação do N_{SPT} , nível do lençol freático e estratigrafia. A partir desses modelos foram extraídas seções bidimensionais de interesse e produzidos mapas temáticos bidimensionais referentes à profundidade do impenetrável, nível de lençol freático, variação do N_{SPT} a várias

profundidades entre outros. A Figura 2.11 apresenta o nível do lençol freático no período de estiagem.

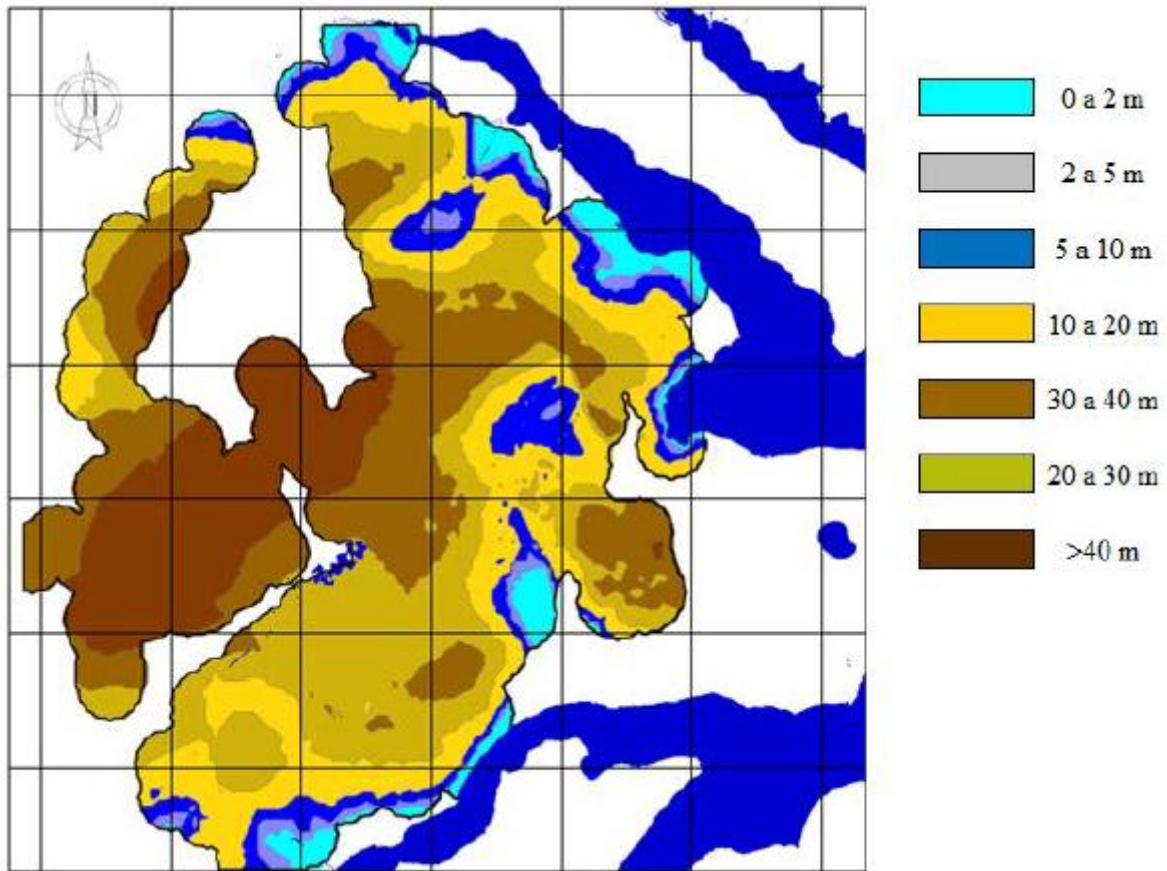


Figura 2.11 –Profundidade do nível freático no período de estiagem (Alves, 2009).

A partir do modelo criado várias seções de interesse foram traçadas, destacam-se aquelas sob o trajeto do metrô da Asa Norte. A Figura 2.12 apresenta uma seção transversal que descreve a variação do N_{SPT} .

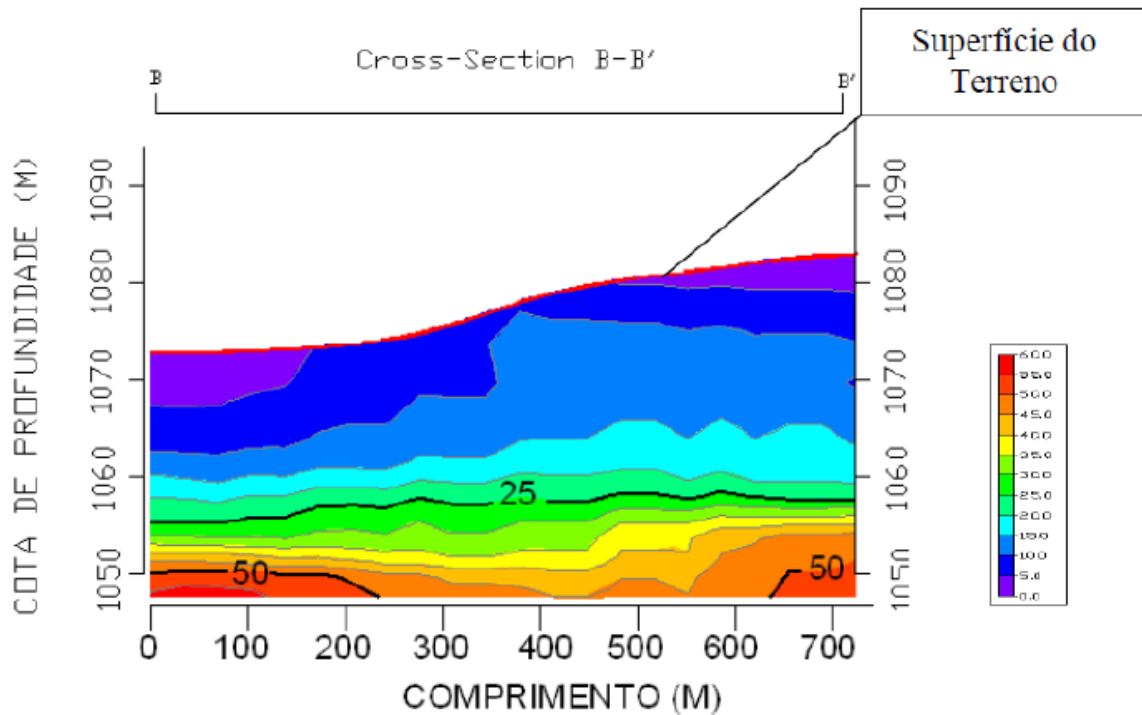


Figura 2.12 - Variação do N_{SPT} com a profundidade (Alves, 2009).

Com base no modelo desenvolvido e em critérios de engenharia Alves (2009) elaborou uma carta de adequabilidade à construção de garagens subterrâneas apresentada na Figura 2.13.

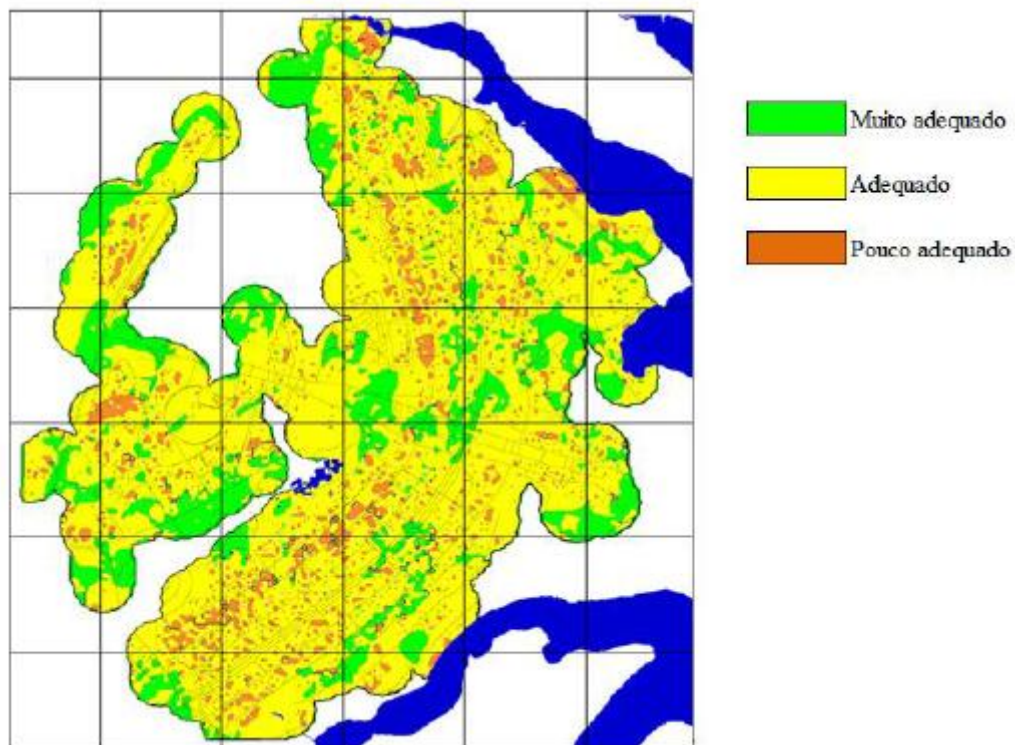


Figura 2.13 - Carta de adequabilidade para construção de garagens subterrâneas (Alves, 2009).

2.8.2- MANAUS - BRASIL

Dentre os vários produtos cartográficos gerados se destacam aqueles que apresentam as condições encontradas do terreno e aqueles que buscam orientar as ações humanas no que se refere à exploração dos recursos naturais e disposição de resíduos.

As Figuras 2.14, 2.15 e 2.16 apresentam as cartas de uso e cobertura do solo, unidades e adequabilidade para deposição de resíduos respectivamente.

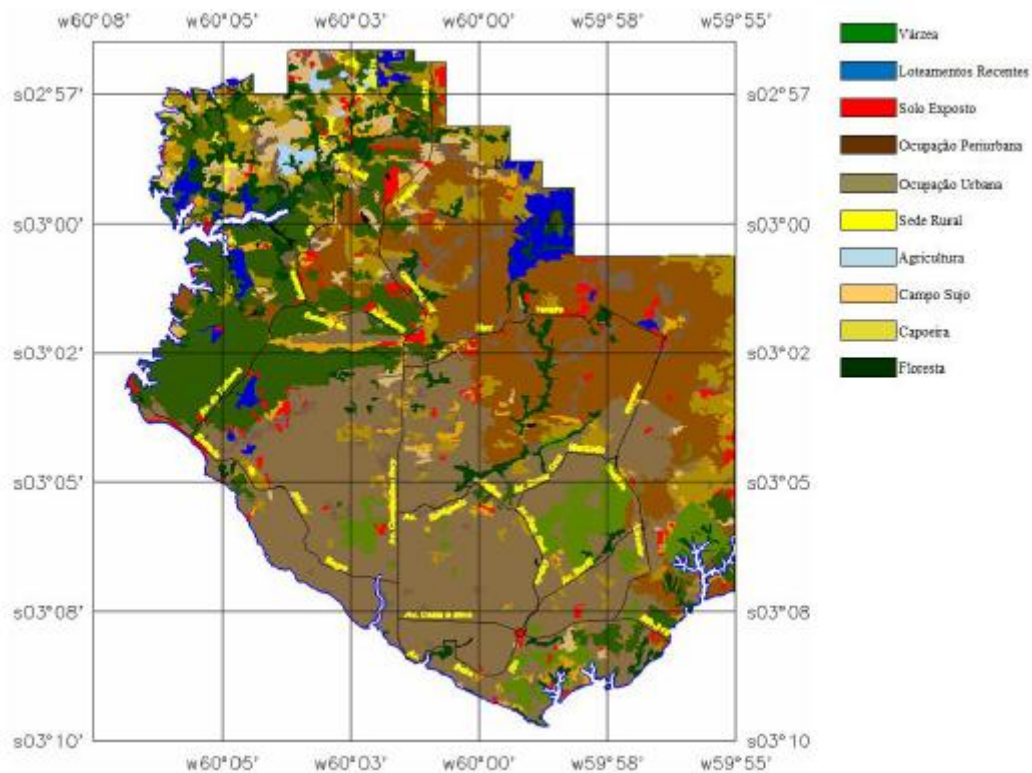


Figura 2.14 - Carta de uso e cobertura do solo (Roque, 2006).

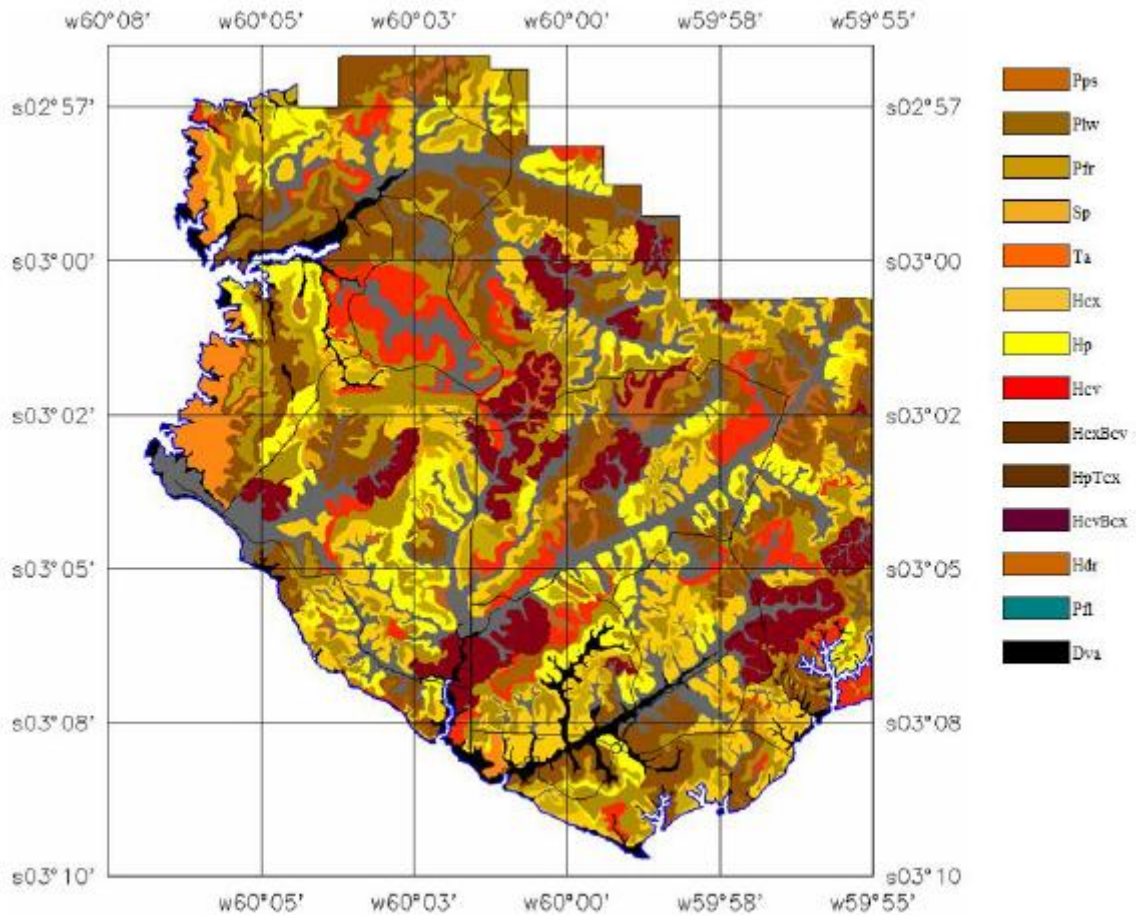


Figura 2.15 - Carta de unidades geotécnicas (Roque, 2006).

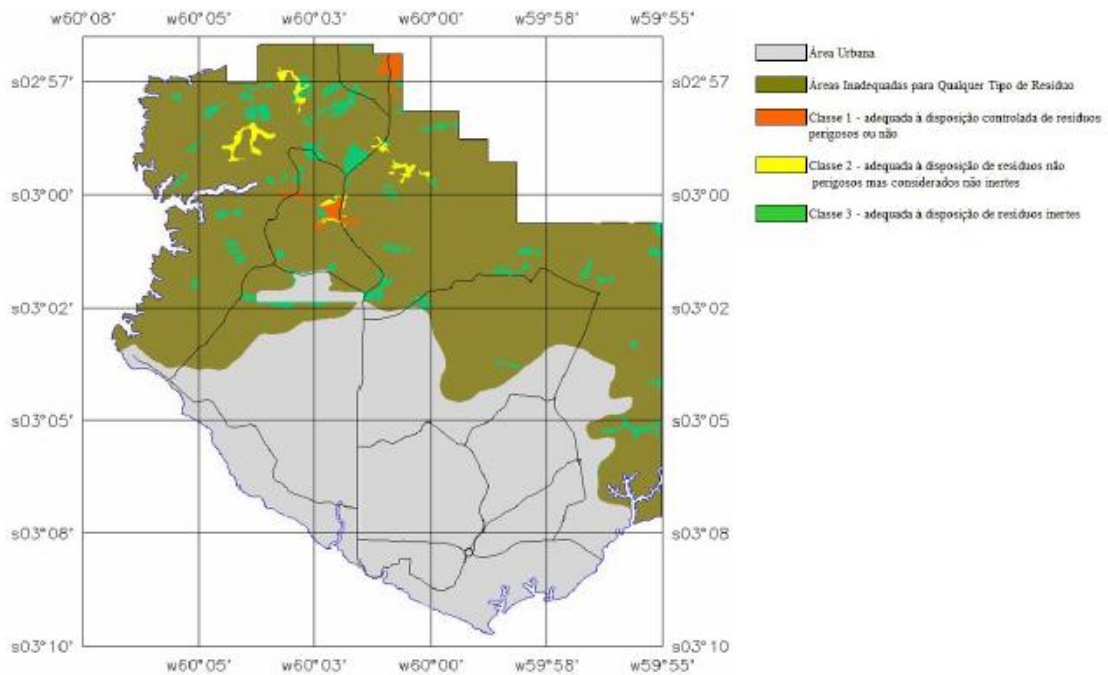


Figura 2.16 - Carta de áreas potenciais para a disposição de resíduos (Roque, 2006).

2.8.3- ROMA - ITÁLIA

Com o Modelo Integrado do Subsolo foram gerados vários produtos, se destacam os perfis das regiões dos principais vales da cidade, onde foram identificados vários depósitos sedimentares. A Figura 2.17 mostra alguns depósitos sedimentares na região do Vale del'Almone, indicados em vermelho e laranja.

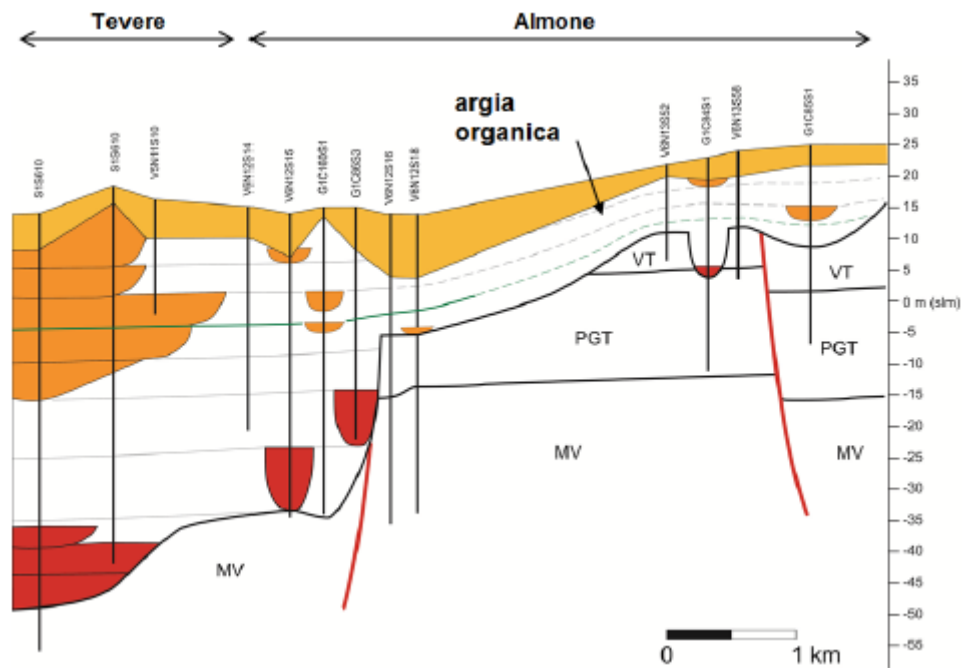


Figura 2.17 - Perfil do terreno na região do Vale del'Almone (Raspa *et al.*, 2008).

A presença destes depósitos sedimentares localizados e bem delimitados foi utilizada pelos autores para explicar diversos fenômenos observados na cidade, um bastante perceptível é mostrado na Figura 2.18.



Figura 2.18 - Recalque diferencial observado entre edifícios residenciais (Raspa *et al.*, 2008).

2.8.4- LAULANE - MOÇAMBIQUE

Abel (2002) identificou no terreno níveis com carapaças de ferro que resultam em variações bruscas e pontuais da resistência do solo com a profundidade. A partir das sondagens do tipo SPT associadas aos ensaios de laboratório o autor conseguiu desenvolver uma correlação entre ângulo de atrito e N_{SPT} .

Considerando a ação da tensão vertical no perfil o autor chegou à correlação mostrada na Figura 2.19.

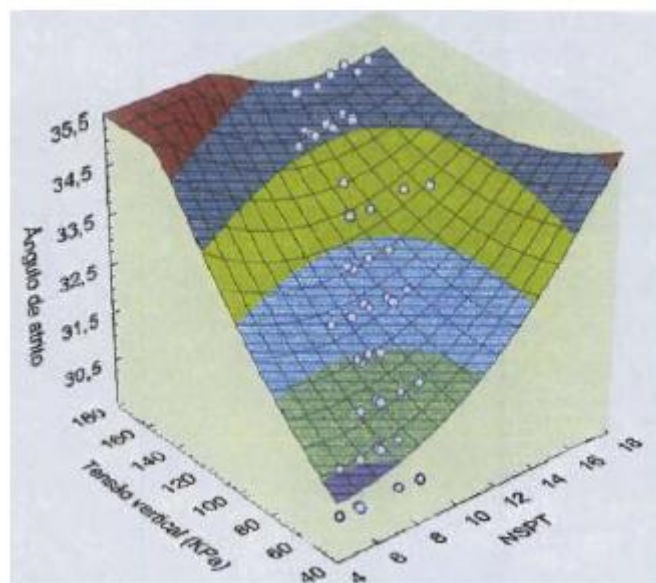


Figura 2.19 - Correlação entre N_{SPT} , tensão vertical e ângulo de atrito (Abel, 2002).

A Equação 2.6 sintetiza o modelo apresentado pela Figura 2.20.

$$\phi = 29,56 - 0,22N_{SPT} + 0,032\sigma_v + 0,023N_{SPT}^2 - 0,004\sigma_v N_{SPT} + 0,0001485\sigma_v^2 \quad (2.6)$$

As análises estatísticas permitiram a criação de um modelo capaz de apontar os valores médios de ângulo de atrito e coesão para uma dada profundidade, bem como a variação esperada para estes valores.

A Tabela 2.7 mostra os valores médios de coesão e ângulo de atrito com suas respectivas variações para as profundidades de 3, 6 e 9 m.

Tabela 2.7 - Valores médios para coesão e ângulo de atrito (Abel,2002)

Variável	Profundidade (m)	Média	Coefficiente de Variação (%)
Ângulo de atrito	3	31,3	3
	6	32,9	3
	9	34,3	2
Coesão	3	7,8	15
	6	9,0	11
	9	10,4	7

Na presente dissertação esperava-se obter correlações semelhantes às apresentadas por Abel (2002), especializando dados geotécnicos e compatibilizando-os com perfis de sondagens.

3- MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreve os materiais e métodos utilizados na confecção do trabalho, apresentando as observações pertinentes ao entendimento do desenvolvimento do mesmo.

3.1- MATERIAIS

Para a confecção do trabalho foi necessária a aquisição, a organização, o tratamento e o processamento de dados.

Os dados utilizados são provenientes de três fontes distintas: laboratório de geotecnia da UnB, relatórios de sondagens e provas de carga além de publicações científicas.

A Figura 3.1 apresenta a distribuição dos dados de acordo com a sua origem.

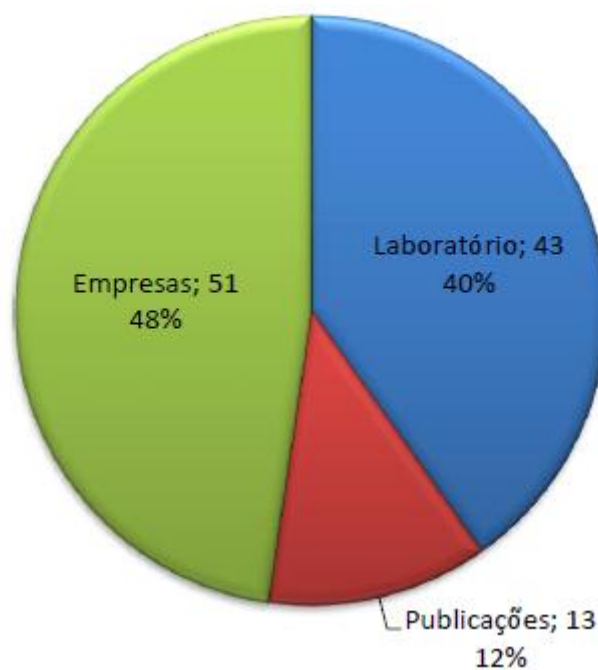


Figura 3.1 - Distribuição dos dados coletados de acordo com a fonte.

3.1.1- ORGANIZAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados foram organizados na forma de um banco de dados. Dispostos de tal modo a permitir a sua melhor utilização e conseqüentemente possibilitando a obtenção das melhores relações entre os diferentes objetos. Para tanto foram utilizados os *softwares* Excel® e Access®.

3.1.1.1- TRATAMENTO ESTATÍSTICO

O tratamento de dados ocorreu com a ajuda do pacote estatístico do Excel® associado com o software PASW®. Utilizados convenientemente de acordo com as melhores aplicações de cada um, bem como do grau de complexidade requerido.

3.1.1.2- PROCESSAMENTO

O processamento dos dados permitiu a geração de cada um dos modelos, bem como dos produtos finais deles derivados. A geração dos modelos se deu pelo uso do pacote estatístico do Excel®. Os produtos finais foram gerados com a ajuda do *software* Spring®.

3.2- MÉTODOS

A elaboração dos modelos e dos produtos finais demandou a adoção de uma série de procedimentos, passando pela coleta, organização, tratamento e processamento de dados.

3.2.1- LABORATÓRIO DE GEOTECNIA

O Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília concentra quase que a totalidade dos estudos desenvolvidos relacionados às características físicas e propriedades mecânicas dos solos da região do Distrito Federal.

3.2.1.1- AQUISIÇÃO

O Laboratório de Geotecnia da UnB dispõe de equipamentos e técnicos capazes de realizar todos os ensaios tradicionais de mecânica dos solos, tanto ensaios de caracterização como os ditos especiais.

Os dados provenientes do laboratório de geotecnia constituem resultados de ensaios de caracterização como: granulometria, limites de liquidez e plasticidade, massa específica dos grãos; ensaios de adensamento com inundações em diferentes níveis descarregamento; ensaios de resistência ao cisalhamento nas condições naturais e saturadas, além de ensaios de permeabilidade.

Para o desenvolvimento deste trabalho recorreu-se ao arquivo do Laboratório de Geotecnia da UnB, como já citado. Foram encontrados registros apenas a partir do ano de 2006 até a data da coleta, início de 2011.

Os dados coletados não se encontravam organizados de uma forma sistematizada, por vezes não havia data, local ou profundidade de coleta das amostras. Por este motivo muitas informações não puderam ser aproveitadas e foram reservadas para trabalhos futuros onde as mesmas possam ser utilizadas.

Foram encontrados 113 registros que continham informações sobre a localização dos locais de extração e coleta associadas à resultados de caracterização e demais atributos tais como parâmetros de resistência.

3.2.1.2- ORGANIZAÇÃO

O potencial de utilização do banco de dados depende, em grande parte, de sua organização.

Com o intuito de otimizar o banco de dados foram dispensadas todas as informações que não poderiam ser correlacionadas com as demais, restando aquelas que apresentam localização ou atributos relativos às suas características, como textura ou cor, associados aos parâmetros geotécnicos.

As informações selecionadas foram subdivididas de acordo com sua natureza, como mostra a Figura 3.2.



Figura 3.2 - Subdivisão dos dados oriundos do laboratório de geotecnia.

A partir da divisão em categorias, estas foram organizadas de maneira a possibilitar sua utilização direta nos *softwares* mencionados. As Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 apresentam, respectivamente, excertos das planilhas dos objetos: caracterização, resistência e percolação e adensamento.

Tabela 3.1 - Excerto da categoria objeto caracterização.

Ponto	X(m)	Y(m)	HRB1	HRB2	HRB3
1	195063	8265505	A-2-4		
4a	190593	8257033			
4b	190593	8257033			
4c	190593	8257033			
6	190147	8255771			
8	192156	8254841	A-6		
9	189937	8254153			A-2-5
11	196428	8252655	A-7-6	A-7-6	A-7-6
12	196428	8252655	A-7-6	A-2-7	A-7-6

HRBp - *Highway Research Board* onde p indica a profundidade.

Tabela 3.2 - Excerto da categoria objeto resistência.

Ponto	X(m)	Y(m)	cn1	cn2	cn3
1	195063	8265505	22,0		
4a	190593	8257033			
4b	190593	8257033			
4c	190593	8257033			
6	190147	8255771			52,0
8	192156	8254841			
9	189937	8254153			24,0
11	196428	8252655	26,0	0,0	10,0

cnp – coesão (kPa) à unidade natural onde p indica a profundidade.

Tabela 3.3 - Excerto da categoria objeto percolação e adensamento.

Ponto	X(m)	Y(m)	CR1	CC1	TPA1
1	195063	8265505			
4a	190593	8257033	0,00002	0,00020	50
4b	190593	8257033	0,00002	0,00020	105
4c	190593	8257033	0,00002	0,00020	110
6	190147	8255771			
8	192156	8254841			
9	189937	8254153			
11	196428	8252655	0,00003	0,00025	110
12	196428	8252655	0,00003	0,00025	110

CCp, CRp – índice de compressibilidade onde p indica a profundidade; TPAp – tensão de pré-adensamento (kPa) onde p indica a profundidade.

Em relação às Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 a primeira coluna corresponde apresenta os geoidentificadores da informação. A segunda e terceira colunas apresentam as coordenadas e as colunas subsequentes trazem os atributos.

Na Tabela 3.1 têm-se os atributos de classificação HRB (*Highway Research Board*) e SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) até a profundidade de 12 m. Na Tabela 3.2 tem-se a coesão e o ângulo de atrito, naturais e saturados, para profundidades de até 12m. Na Tabela 3.3 têm-se os índices de compressibilidade e as tensões de pré-adensamento para profundidades de até 12m.

3.2.1.3- TRATAMENTO ESTATÍSTICO E PROCESSAMENTO

Amostras de cada categoria objeto foram submetidas a processos de estatística descritiva, objetivando verificar a ocorrência ou não de subpopulações dentro das unidades amostrais escolhidas. Os resultados são apresentados no capítulo 4.

Após a verificação estatística das amostras, procedeu-se com o desenvolvimento dos modelos, obtidos por regressão linear múltipla.

Para a escolha dos atributos que comporiam cada modelo utilizou-se um processo de tentativa e erro, onde se inicia a regressão com todos os atributos disponíveis e se excluem gradualmente aqueles que pouco influenciam na acurácia do modelo.

A Tabela 3.4 apresenta um excerto dos dados utilizados para elaboração dos modelos da referida categoria objeto.

Tabela 3.4 - Excerto da planilha utilizada na elaboração dos modelos geomecânicos – laboratório de geotecnia.

Clas.	PROF (m)	N _{SPT}	e	wL (%)	IP(%)	G _s	cn (kPa)	ϕ_n (°)	Cs(kPa)	ϕ_s (°)
Argila	3	12	-	-	-	-	52,0	21	17,0	25
Argila	3	2	-	50	15	2,80	26,5	26	0,0	32
Argila	3	2	2,1	-	-	2,72	51,0	23	0,0	29
Argila	4	3	2,0	52	14	2,76	19,0	25	11,0	28
Argila	5	2	1,3	-	-	2,76	26,9	29	0,0	28
Argila	5	2	1,4	-	-	2,77	33,0	40	0,0	32
Argila	5	4	1,3	-	-	2,68	35,0	25	-	-

cn – coesão natural (kPa); cs – coesão saturada (kPa); ϕ_n – ângulo de atrito natural; ϕ_s – ângulo de atrito saturado.

3.2.2- PUBLICAÇÕES

O programa de pós-graduação em geotecnia da UnB publicou dezenas de teses e dissertações, várias delas apresentam estudos sobre o solo local e a maior parte dos ensaios foi realizada no próprio laboratório da instituição.

A Figura 3.3 apresenta como foram subdivididos os dados desta fonte de informações.

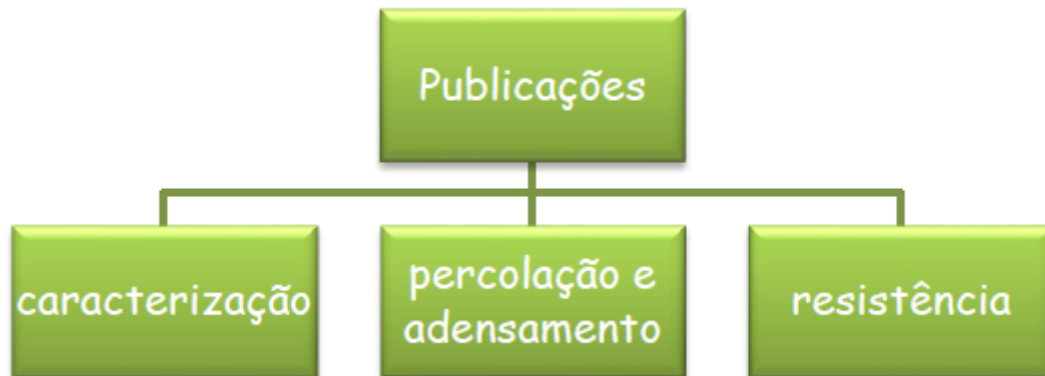


Figura 3.3 - Subdivisão dos dados oriundos de publicações científicas.

Apesar do número de publicações pouco se pode aproveitar neste trabalho, uma vez que os dados apresentados são ora muito específicos ora muito generalistas o que demandaria, para seu aproveitamento, muito tempo de leitura e análise.

Como se dispõe de outras fontes de informação optou-se por agregar ao banco de dados apenas os dados que se encaixassem diretamente nos moldes já criados. Dessa forma, as informações obtidas nas publicações foram incorporadas diretamente no banco de dados de laboratório.

Desta forma entendem-se as informações obtidas nas publicações como complementares às obtidas diretamente do laboratório de geotecnia, aplicando-se as mesmas metodologias de organização e etapas de trabalho já descritas.

3.2.3- EMPRESAS

As informações provenientes das empresas constituem outro gênero de informações, contendo não parâmetros do solo, mas características e propriedades mecânicas: resistência à penetração SPT, capacidade de carga de estacas de acordo com seu diâmetro, comprimento e tipo de execução.

3.2.3.1- AQUISIÇÃO

Os dados foram adquiridos entre as empresas atuantes na região. Eles se referem a ensaios de provas de carga estática, em sua maioria realizados sobre estacas do tipo hélice contínua. A Figura 3.4 apresenta a distribuição dos dados adquiridos de acordo com sua natureza.

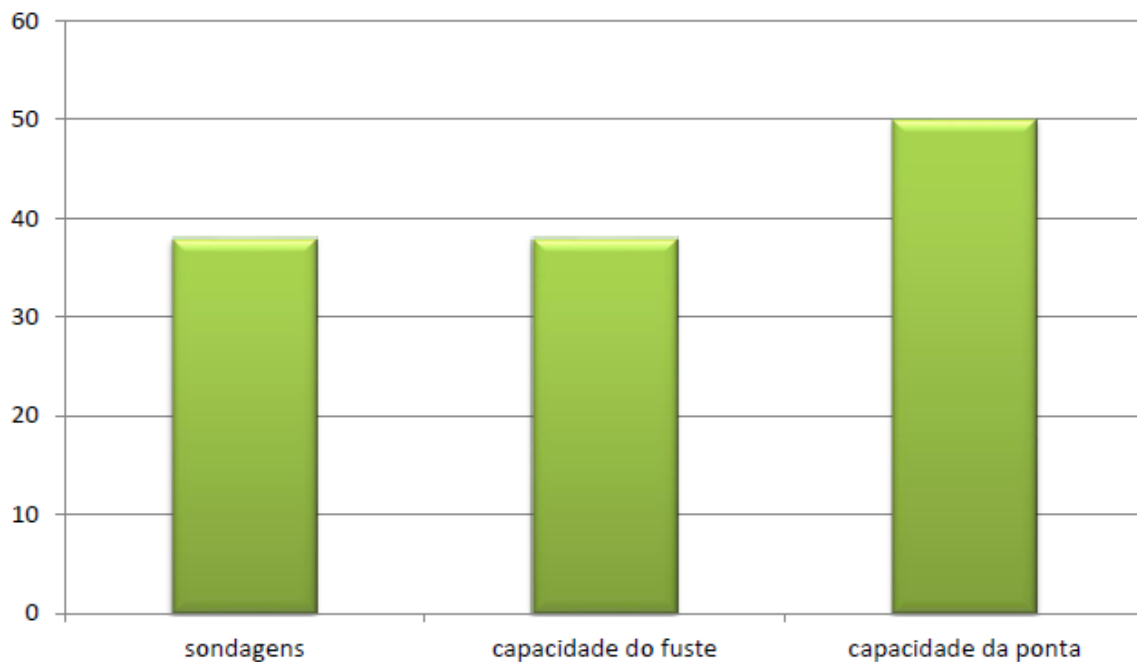


Figura 3.4 - Quantidade de informações disponíveis de acordo com sua natureza.

3.2.3.2- ORGANIZAÇÃO

Procurou-se seguir a mesma metodologia empregada para os dados de laboratório, considerando, obviamente, as particularidades das informações provenientes das empresas.

Desse modo associaram-se as informações obtidas nos relatórios de provas de cargas às suas respectivas localizações espaciais. Sendo as coordenadas x e y referentes à localização no plano e a coordenada z indicando a profundidade em relação à superfície.

Para uma melhor manipulação e aplicação dividiu-se o mesmo em dois grupos, o primeiro referente ao atrito unitário e o segundo referente à tensão de ruptura. As Tabelas 3.5 e 3.6 apresentam, respectivamente, excertos das planilhas de tensão de ruptura e atrito unitário lateral.

Tabela 3.5 - Excerto da categoria objeto Tensão de ruptura do solo.

Ponto	Prof (m)	Diâmetro (m)	Ponta (kN)	Lateral (kN)	X (m)	Y (m)	Trup1 (kPa)
2a	12,0	0,4	1060	450	196674	8262308	8435
2b	12,0	0,4	1740	270	196674	8262308	13846
2c	12,0	0,4	590	420	196674	8262308	4695
2d	12,0	0,4	990	760	196674	8262308	7878
3a	8,0	0,5	245	75	189118	8258370	1248

Ponta – Resistência última de ponta (kN); Lateral – Resistência última do fuste (kN); T_{rup} – Tensão de ruptura do solo (kPa); 1 – profundidade da informação.

Tabela 3.6 - Sistema de informação geográfico – atrito unitário lateral.

Ponto	Prof (m)	Diâmetro (m)	Ponta (kN)	Lateral (kN)	X(m)	Y(m)	ATL1 (kPa)
2a	12,0	0,4	1060	450	196674	8262308	9,42
2b	12,0	0,4	1740	270	196674	8262308	5,65
2c	12,0	0,4	590	420	196674	8262308	8,80
2d	12,0	0,4	990	760	196674	8262308	15,92

Ponta – Resistência última de ponta (kN); Lateral – Resistência última do fuste (kN); Trup – Tensão de ruptura do solo (kPa); 1 – Profundidade da informação.

A Figura 3.5 apresenta a subdivisão destes dados.



Figura 3.5 - Subdivisão dos dados oriundos das empresas.

3.2.3.3- TRATAMENTO ESTATÍSTICO E PROCESSAMENTO

De modo a facilitar a generalização das informações obtidas transformou-se a capacidade de carga da ponta em tensão de ruptura do solo assim como a capacidade do fuste em capacidade por atrito lateral e por sua vez em atrito unitário lateral.

Para a realização das transformações combinou-se as informações obtidas nos boletins de sondagens com os métodos de previsão de capacidade de carga e o método das três retas apresentado no capítulo 2.

A transformação da capacidade de carga da ponta em tensão de ruptura foi realizada com sua previsão teórica, a partir dos dados de sondagem e utilizando a equação 2.1, proposta por Aoki-Veloso.

Utilizou-se um fator de correção para adequar o valor teórico ao valor determinado pelo ensaio de prova de carga. Desse modo, e conhecendo-se a geometria da estaca, obteve-se a

determinação dos valores de tensão de ruptura para todas as profundidades. A Tabela 3.7 ilustra o processo.

A transformação da capacidade de carga do fuste para atrito unitário lateral demandou a utilização das equações empíricas para previsão da mesma através de dados de sondagens do tipo SPT, método proposto por Aoki-Veloso.

Após a obtenção dos dados previstos de capacidade de carga do fuste comparou-os com os valores obtidos no ensaio de prova de carga estático e os corrigiu. Dessa maneira, e utilizando a geometria da estaca, obtiveram-se os valores de atrito unitário lateral metro a metro para aquele solo e aquele tipo de estaca. A Tabela 3.8 ilustra o processo.

Com base nos dados fornecidos por estas transformações procedeu-se com as análises de estatística descritiva de modo a verificar a existência de subpopulações.

Após a determinação e o agrupamento das subpopulações existentes procedeu-se com a elaboração dos modelos geomecânicos através de regressões lineares múltiplas. A Tabela 3.9 apresenta um excerto dos dados utilizados na elaboração destes modelos.

Para elaboração dos modelos utilizaram-se correlações lineares múltiplas, relacionando o atributo desejado com a profundidade e o valores de N_{SPT} . Isso se deu pelo intuito de simplificar ao máximo as relações, possibilitando sua aplicação em um número maior de situações.

Tabela 3.7 - Excerto do processo de obtenção dos valores de Tensão de ruptura do solo

Prof	N_{SPT}	Descrição	Resistência teórica de ponta (kN)	Valor corrigido (kN)	T_{rup} (kPa)
1	0		0	0	0
2	3	Argila	55	51	406
3	2		36	34	270
4	4		73	68	541
5	6		110	102	812
6	8		147	136	1083
7	5		92	85	676
8	12		221	204	1624
9	22		405	374	2978
10	15		201	185	1476
11	17	227	210	1673	
12	21	Silte Amarelo	281	259	2067
13	29		388	358	2855
14	25		335	309	2461
15	31	Silte Roxo	649	599	4769
16	31		649	599	4769
17	29		607	560	4461
18	28		586	541	4307
19	30		628	580	4615
20	34		712	657	5230

T_{rup} – Tensão de ruptura do solo.

Tabela 3.8 - Excerto do processo de obtenção dos fatores de atrito lateral.

Prof	N _{SPT}	Descrição	Resistência teórica do fuste (kN)	Valor corrigido (kN)	Atrito unitário lateral (kPa)
1	0	Argila	0	0	0
2	3		13	4	3
3	2		9	3	2
4	4		18	6	5
5	6		27	9	7
6	8		37	12	10
7	5		23	8	6
8	12		55	19	15
9	22		102	35	28
10	15		57	19	15
11	17	Silte Amarelo	64	22	17
12	21		80	27	22
13	29		110	38	30
14	25		95	33	26
15	31		184	64	50
16	31	Silte Roxo	184	64	50
17	29		172	59	47
18	28		166	57	46
19	30		178	62	49
20	34		202	70	55

Tabela 3.9. Excerto da planilha utilizada na elaboração dos modelos geomecânicos.

Prof (m)	N _{SPT}	Tensão de ruptura (kPa)	Atrito unitário lateral (kPa)
1	0	0	0
2	3	406	3
3	2	270	2
4	4	541	5
5	6	812	7
6	8	1083	10
7	5	676	6

Após todo o processo descrito, incluindo a elaboração dos modelos, os mesmos foram submetidos a processos de verificação e validação, apresentados no capítulo 4.

A Figura 3.6 apresenta a estrutura final do banco de dados criado para o desenvolvimento desta dissertação.

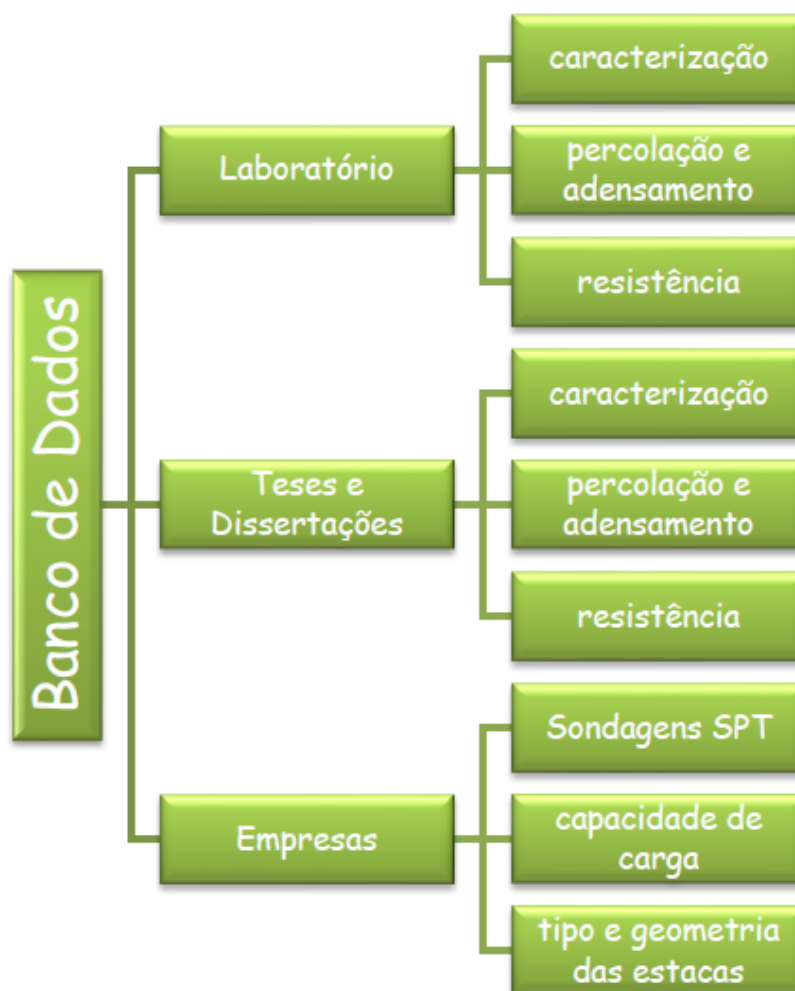


Figura 3.6 - Organização do banco de dados produzido.

4- RESULTADOS E ANÁLISES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos na elaboração do trabalho. Após a apresentação da situação geológica regional são apresentados os modelos gerados na dissertação e os resultados que levaram aos mesmos, sendo eles: as análises exploratórias dos dados, as regressões lineares e por fim a avaliação e a validação dos modelos.

4.1- CONDIÇÕES DO MEIO FÍSICO

Este item tem como objetivo apresentar as principais características geológicas do Distrito Federal, permitindo, desse modo, um ponto de partida para as análises desenvolvidas sobre os resultados obtidos.

4.1.1- ASPECTOS GERAIS

As sequências de rochas do Distrito Federal localizam-se entre o Cráton do São Francisco e o Maciço Mediano de Goiás, tendo como limites os paralelos 15°30' e 16°03' e os meridianos 47°25' e 48°12' totalizando uma área de 5814 km² (Faria, 1995).

Em relação aos aspectos fisiográficos, o Distrito Federal é considerado uma área dispersora de drenagem, sendo posicionado entre grandes rios a leste e a oeste, das bacias do São Francisco e Paraná, respectivamente. A drenagem está condicionada à morfogênese, à estrutura e à litologia das rochas. Sob os quartzitos há um domínio do modelo retangular, enquanto que sob os filitos e xistos há predomínio dos modelos subdentrícos e dentrícos.

Os solos do Distrito Federal surgiram a partir da evolução de quartzitos, metarritmitos, metassiltitos, ardósias e filitos, são solos tropicais de cor avermelhada e ricos em ferro e alumínio, predominantemente ácidos.

O clima é quente e semiúmido, com duas estações bem definidas, uma seca, coincidente com o inverno e outra de chuvas, que coincide com o verão. Os índices pluviométricos variam entre 1500 e 1700 mm.

Em relação à geomorfologia, a região é constituída por áreas extensas, predominantemente planas a suavemente ondulada, as chapadas, modeladas sobre quartzitos, metarritmitos e filitos, em sua maioria coberta por latossolo e laterita. As bordas são entalhadas por erosões fluviais e regressivas.

4.1.2- SITUAÇÃO GEOLÓGICA

O Distrito federal está localizado, do ponto de vista geológico-estrutural, na parte central da placa Sul Americana, em uma região de formação tectônica denominada Faixa de Brasília, que regionalmente compõe a Província Estrutural do Tocantins (Bizzi *et al*, 2003).

A Faixa Brasília representa uma unidade geotectônica instalada entre a borda oeste do Cráton do São Francisco e a borda leste do Maciço de Goiás, sobre um embasamento constituído por terrenos granito-*greenstone*-gnáissico arqueano e supra-crustais paleoproterozóicas. Juntamente com o Maciço de Goiás e a Faixa de Dobramentos Paraguai-Araguaia constitui a Província Estrutural do Tocantins.

A Figura 4.1 apresenta a Província Estrutural do Tocantins.

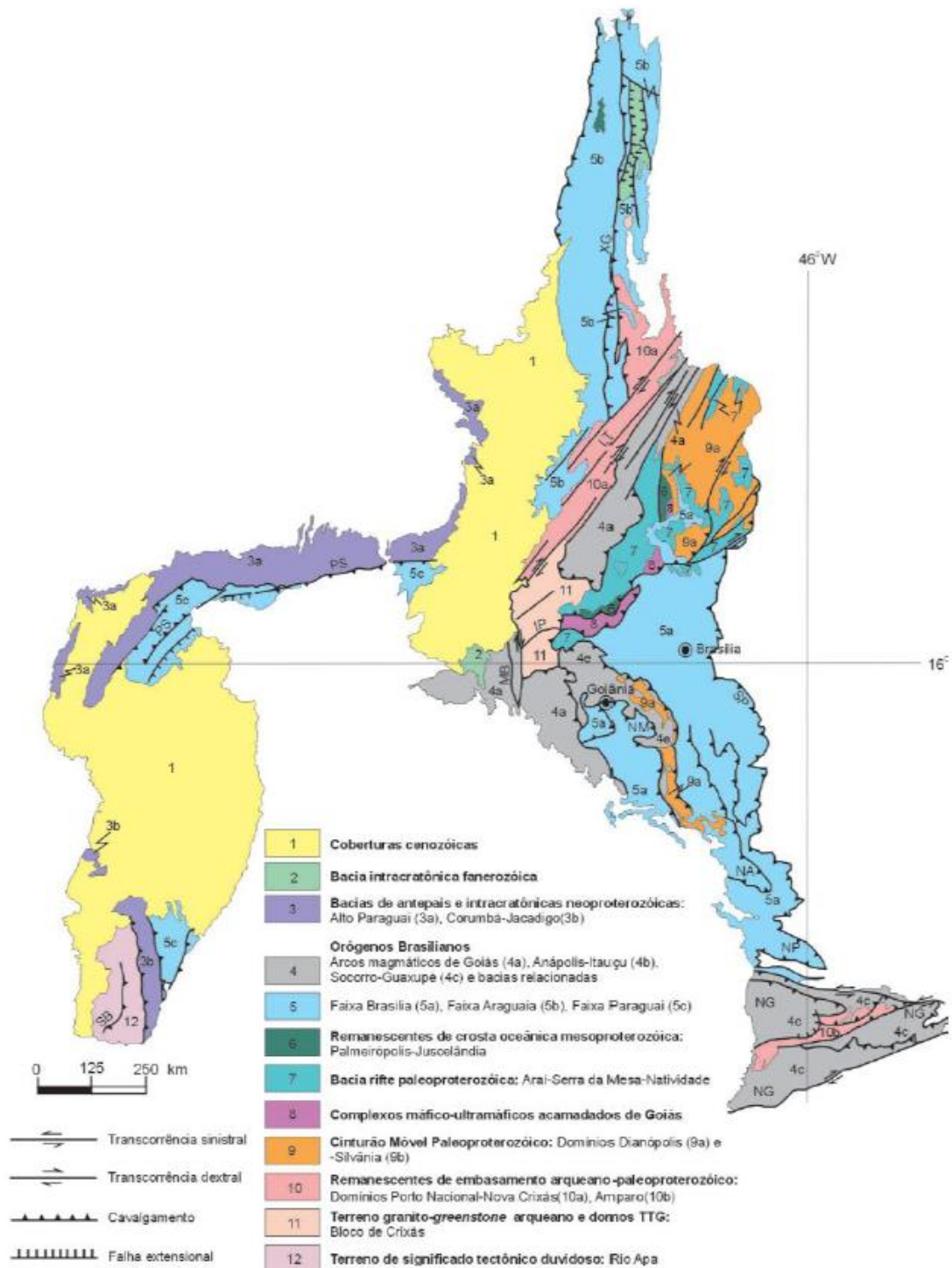


Figura 4.1 - Província Estrutural do Tocantins (Bizzi *et al*, 2003).

4.1.2.1- FAIXA BRASÍLIA

A Província Estrutural do Tocantins se localiza na parte central do Brasil e é formada pelas Faixas Brasília, Paraguai e Araguaia. Constitui um sistema de orógenos brasileiros caracterizados por cinturões de dobras e empurrões resultantes da convergência e colisões

entre o Cráton do Amazonas, à oeste, São Francisco, à leste, e Paranapanema à sudoeste (Bizzi *et al.*, 2003).

A Faixa Brasília se situa na porção oriental da Província, apresenta uma extensão de cerca de 1000 km na direção Norte-Sul desde o estado do Tocantins até o Estado de Minas Gerais. Caracteriza-se pelas associações de rochas metassedimentares a rochas metavulcanossedimentares deformadas em regime progressivo e formando sistemas de dobras empurrões e imbricamentos.

Pimentel e Fuck *apud* Bizzi *et al.*, 2003 identificaram na Faixa de Brasília dois segmentos distintos, zonas internas e externas, que se diferenciam pela intensidade deformacional a que foram submetidos e por apresentarem polaridade metamórfica crescente em direção à zona interna da faixa.

A zona externa é formada por associações de rochas metassedimentares dos grupos Paranoá, Canastra, enquanto que a zona interna compreende rochas metassedimentares do grupo Araxá.

A porção central da faixa é transposta transversalmente por um sistema de zonas de cisalhamento dúcteis com direção predominante de E-W e variação para NE-SW. Essa feição, denominada Mega Inflexão dos Pirineus, é resultado de esforços compressivos de oeste para leste e divide a faixa entre setentrional e meridional que apresentam evoluções distintas e apresentam diferenças significativas na estratigrafia, estrutura e outros aspectos geológicos.

A parcela setentrional se inicia próximo ao Distrito Federal e se estende para o norte por mais de 500 km, identificam-se uma série de dobras e empurrões na direção N-S resultantes de esforços de oeste para leste.

4.1.3- GEOLOGIA REGIONAL

As rochas encontradas no Distrito Federal são atribuídas aos grupos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí como mostrado na Figura 4.2.

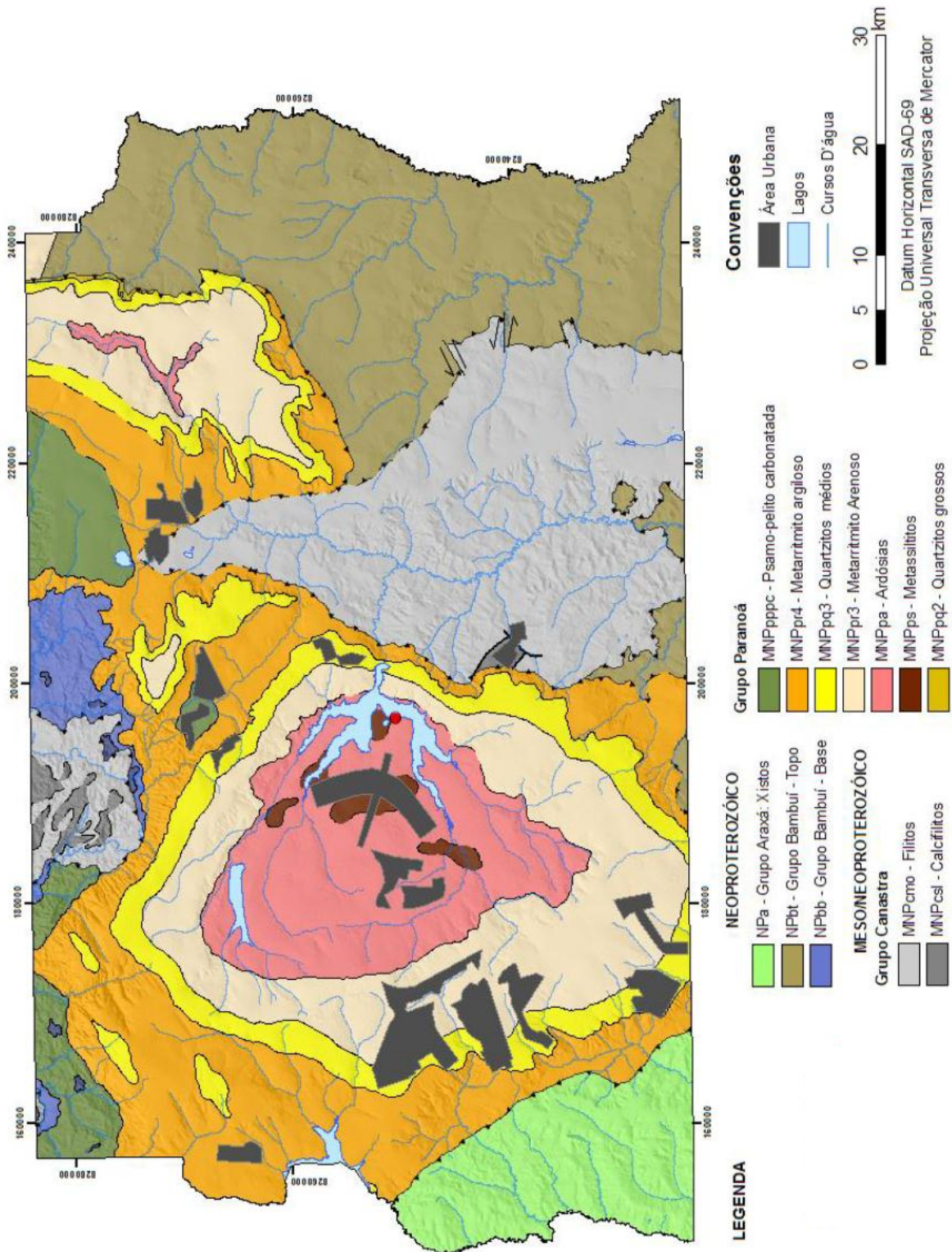


Figura 4.2 - Geologia Simplificada do Distrito Federal (Freitas-Silva & Campos, 1996).

4.1.3.1- GRUPO PARANOÁ

O Grupo Paranoá corresponde a uma sequência psamo-pelito-carbonatada que se estende desde o Distrito Federal, a sul, até próximo da confluência dos rios Paranã e Tocantins no Estado de Goiás (Freitas-Silva; Campos, 1996).

O Grupo Paranoá apresenta-se em duas situações, a primeira em zonas externas, anéis, e a segunda em zonas internas, evidenciando notáveis variações laterais de fácies de leste para oeste. Na zona externa da Faixa Brasília, compreendendo a região do Distrito Federal até Alto Paraíso de Goiás, caracteriza-se pelo seu caráter anquimetamórfico (metamorfismo de grau extremamente baixo) até início da fácies xisto verde, englobando como litotipos característicos conglomerados, ardósias, metarritmitos, calcários e dolomitos onde, em geral, as feições sedimentares primárias estão bem preservadas.

Na zona interna da Faixa Brasília o grupo apresenta-se mais metamórfico e deformado, caracterizando-se pela presença de filitos carbonosos, quartzitos, metacalcários e metadolomitos. A Figura 4.3 apresenta o perfil lito estratigráfico do Distrito Federal.

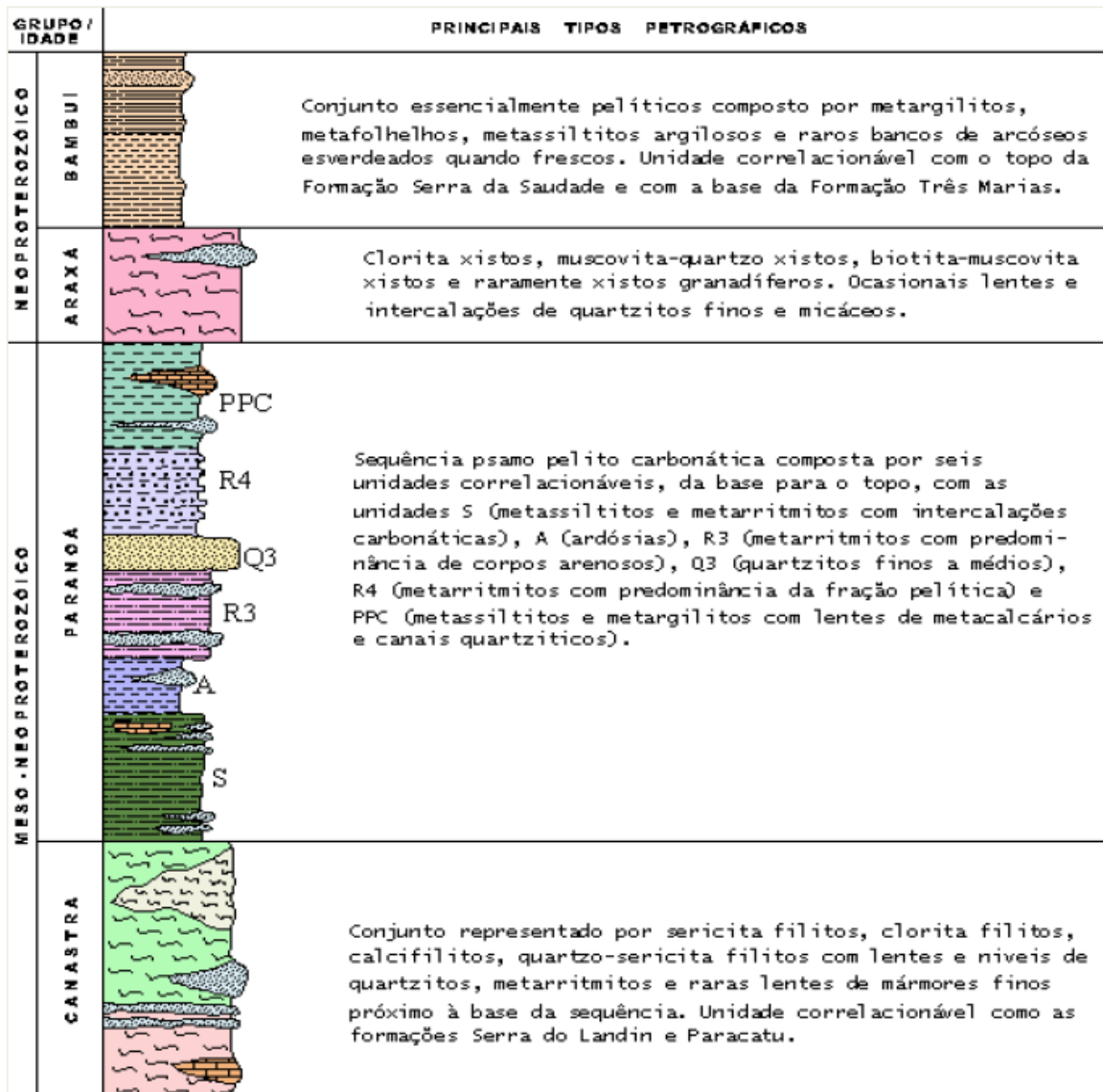


Figura 4.3 - Litoestratigrafia do Distrito Federal (Freitas-Silva e Campos, 1996).

4.1.4- GEOMORFOLOGIA

A Região do Distrito Federal se divide em planícies fluviais, superfícies tabulares, domínio colinoso, domínio de colinas e morros, topos de chapadas e degraus estruturais (Figura 4.4).

A maior parte do território se divide entre superfícies tabulares, domínio de colinas e morros e topos de chapadas.

O domínio de colinas e morros apresenta cotas inferiores a 950m e contém, entre outras coisas, o vale do rio São Bartolomeu.

Os topos de chapadas são representados por chapadas, chapadões e interflúvios tabulares e é considerada a estrutura mais antiga. Sua origem remonta ciclos de erosão, com característica de clima seco, em que predominaram processos de desagregação de rochas.

As superfícies tabulares apresentam uma ruptura nítida, que aparece na paisagem sob a forma de degraus. Ocupa uma extensa área, com cotas que variam de 950 a 1100 m. Predominam chapadas, chapadões e interflúvios tabulares cobertos por materiais oriundos das áreas mais altas. É neste domínio que estão edificadas a maior parte das construções do Distrito Federal, incluindo Brasília.

Os degraus estruturais se apresentam como rupturas de relevos, se situam entre as cotas 1050 e 1200 m. Essas áreas são características por delimitar as principais unidades geomorfológicas.

As planícies fluviais correspondem às áreas mais baixas e de formação mais recentes. O relevo apresenta formas planas elaboradas sobre sedimentos fluviais. As planícies fluviais apresentam-se justapostas ao fluxo dos rios.

As maiores represas do Distrito Federal encontram-se nas superfícies tabulares, assim como a maior parte das áreas urbanas. Já boa parte dos principais rios da região, como o São Bartolomeu, atravessam o domínio de colinas e morros.

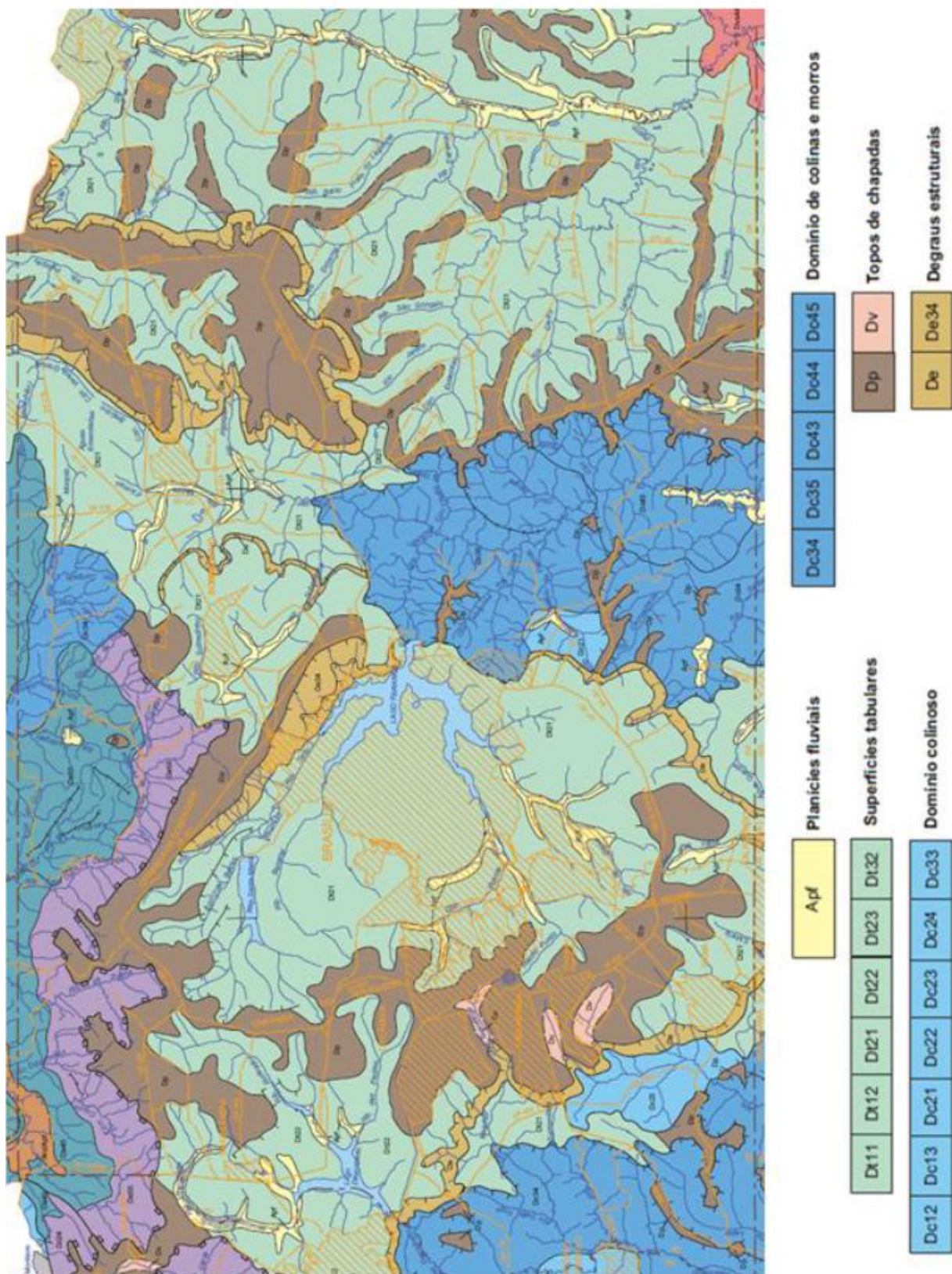


Figura 4.4 - Mapa Geomorfológico do Distrito Federal (CPRM, 2002).

4.1.5- PEDOLOGIA

São vários os solos que compõem o Distrito Federal, entre eles se destacam os latossolos, cambissolos e solos hidromórficos. A seguir será feita uma descrição de cada um dos principais tipos encontrados. A Figura 4.5 apresenta o mapa pedológico do Distrito Federal.

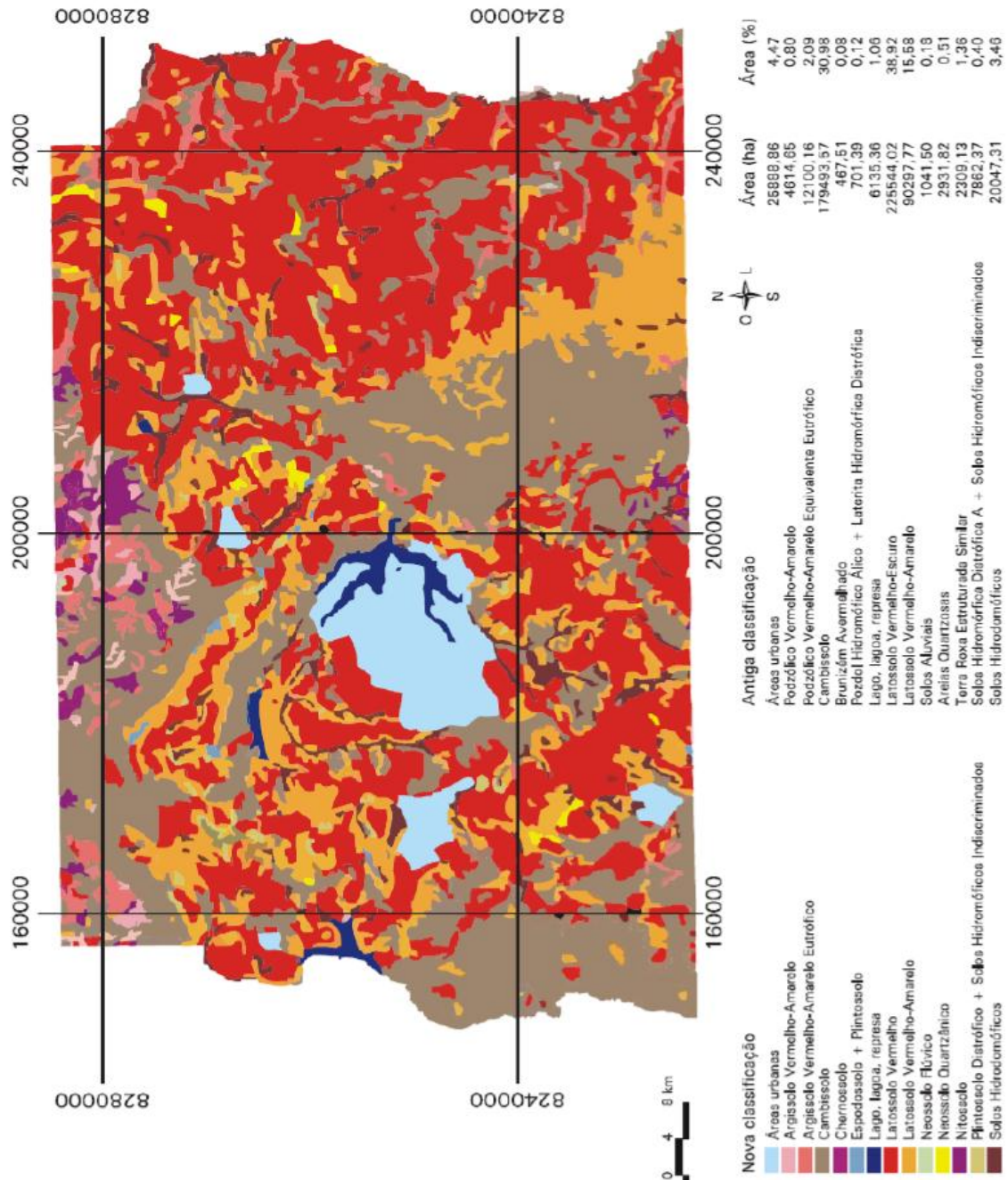


Figura 4.5 - Mapa Pedológico do Distrito Federal (EMBRAPA, 1978, com modificações de Reatto *et al.* 2004).

4.1.5.1- LATOSSOLOS

Os latossolos predominam na região e ocupam 54,5 % do território e se divide em latossolo vermelho, com 38,9 % da área, e latossolo vermelho-amarelo, com 15,6 % da área (Reatto *et al.* 2004).

São solos com alto grau de intemperismo, resultantes de processos de remoção de sílica e bases trocáveis, culminando na concentração de minerais secundários do grupo da caulinita, óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos de Fe e Al como a hematita goethita, gibisita e outros. O quartzo, graças à sua resistência ao intemperismo se mantém como mineral residual primário nos perfis de alteração.

Os latossolos são encontrados, em maior grau, nas chapadas. O relevo suave ondulado favorece a atuação do intemperismo, na primeira superfície geomorfológica, mais antiga, se encontram os latossolos mais intemperizados, matriz amarelada e com presença acentuada de óxidos de Fe e Al.

Na segunda superfície geomorfológica, mais recente, encontram-se os latossolos menos intemperizados, com matriz avermelhada, cuja origem remonta aos depósitos de sedimentos e destaca-se a presença acentuada de caulinita.

De maneira geral são solos profundos, perfis maiores que 2 m, com alta permeabilidade e predominantemente argilosos.

4.1.5.2- CAMBISSOLOS

Ocupa cerca de 30,1% do território, predomina em relevos ondulados e forte ondulados, caracteriza-se por horizontes superficiais pouco alteradas com profundidade entre 0,2 e 1,0 m.

Geralmente encontram-se minerais primários facilmente intemperizáveis e teores elevados de silte, confirmando o baixo grau de intemperismo sofrido. Do ponto de vista estrutural apresenta grande variação, desde blocos sub angulares até cascalhos argilosos ou arenosos.

Segundo Paranhos (1998) os cambissolos apresentam textura argilosa ou média, com a presença de cascalhos, concreções e fragmentos de rochas ao longo dos perfis. Existe uma concentração destes elementos nos metros iniciais, assim como na divisão entre os perfis.

Encontra-se ainda, nas camadas mais superficiais, estrutura do tipo granular moderada a fortemente desenvolvida. Nas camadas mais profundas, e menos intemperizadas, encontram-se blocos angulares e sub angulares fracamente desenvolvidos.

4.1.5.3- SOLOS HIDROMÓRFICOS

Ocupam 3,9% do território, predomina relevo plano a suave ondulado, caracteriza-se por apresentar horizonte A bem desenvolvido e estruturas maciças no horizonte B.

Ocorrem, geralmente, em torno de drenagens e pequenos córregos associados ao afloramento do lençol freático e presença de mata galeria.

O desenvolvimento deste tipo de solo está diretamente ligado às condições de drenagem, uma vez que ocorre sob a influência do lençol freático, condicionado, quase sempre, pelo relevo.

Encontra-se, quase sempre, presença marcante de matéria orgânica nos primeiros 50 cm dos perfis. Apresentam permeabilidade muito baixa, entretanto quando submetidos à processo de drenagem ocorre o fenômeno da subsidência.

4.1.6- HIDROGEOLOGIA

A hidrogeologia é fundamental para a compreensão das propriedades geotécnicas do solo, uma vez que o comportamento da água no mesmo altera completamente seu processo de formação e seu comportamento mecânico.

Diferenciam-se no Distrito Federal dois grandes grupos de aquíferos, o Domínio Aquífero Poroso e o Domínio Aquífero Fraturado. Os itens seguintes tratam de cada um deles.

4.1.6.1- DOMÍNIO POROSO

Nos aquíferos sob o domínio poroso a água ocupa os espaços entre os minerais constituintes do corpo rochoso ou solo. No Distrito Federal não existem rochas sedimentares com espaços intersticiais, portanto, a água é armazenada no manto de alteração, ou seja, o solo. Os principais parâmetros para a mensuração destes aquíferos são a espessura saturada e o coeficiente de permeabilidade do material (Freitas-Silva; Campos, 1996).

Esses aquíferos estão armazenados em solos com espessura bastante variável, entre poucos centímetros a dezenas de metros e podem ser classificados como livres e/ou suspensos, pois apresentam ampla continuidade lateral e compõe o sistema de águas subterrâneas rasas.

Considerando a espessura e a permeabilidade do solo que constitui estes aquíferos, divide-se o domínio em 4 grandes sistemas (P1, P2, P3, P4). Os sistemas P1, P2 e P3 apresentam grandes espessuras e coeficiente de permeabilidade elevado, médio e baixo, respectivamente. O sistema P4 apresenta pequena espessura e baixa condutividade hidráulica.

A Figura 4.6 apresenta as subdivisões do domínio poroso.

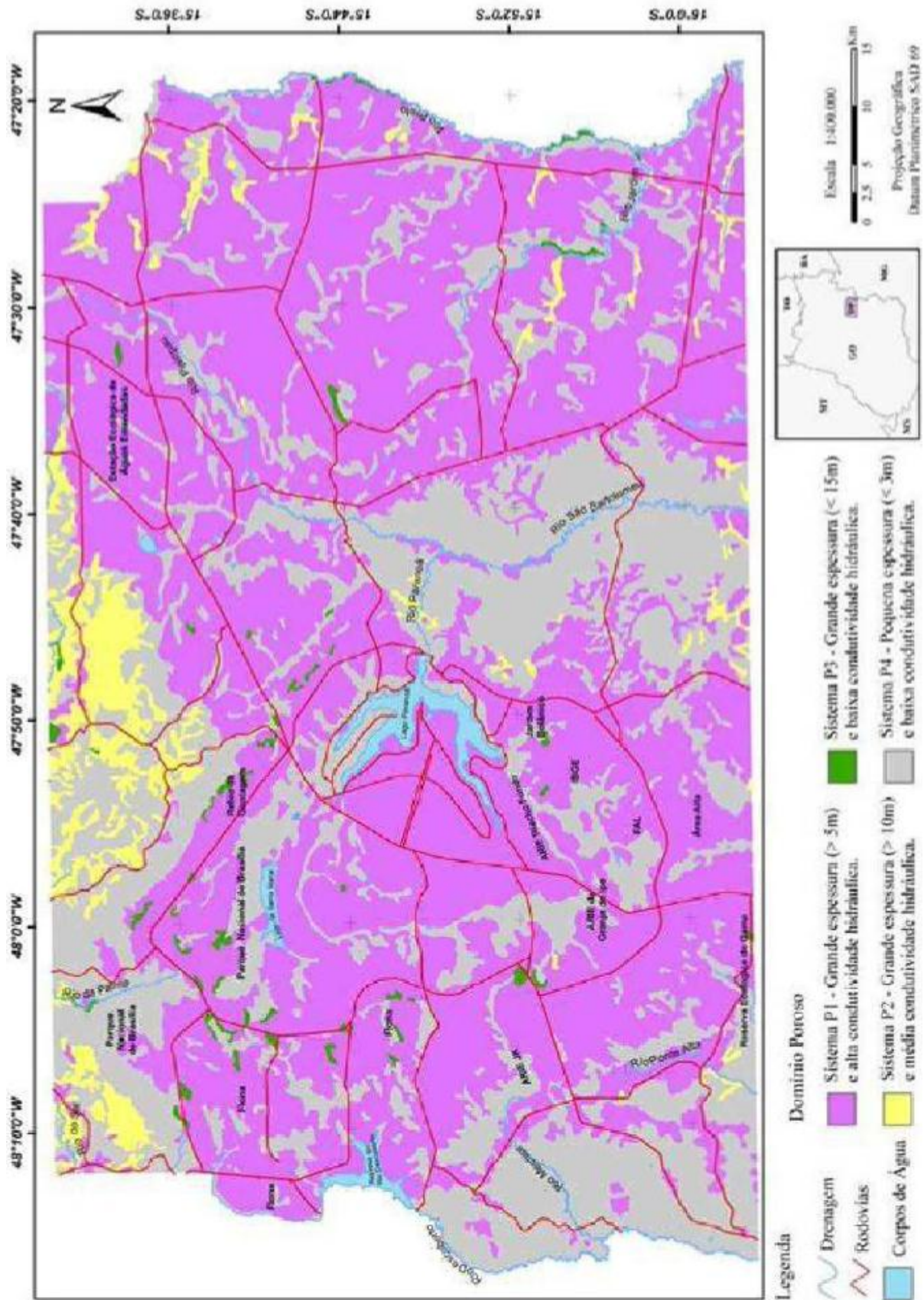


Figura 4.6 - Subdivisões no domínio poroso (Adasa, 2011).

O sistema P1, pedologicamente, é classificado como latossolos de textura arenosa ou em áreas mais restritas, como areias quartzosas. Neste sistema estão localizadas as mais importantes áreas de recarga regionais dos aquíferos fraturados. A região de distribuição dos aquíferos do Sistema P1 apresenta pequenas taxas de declividades, sendo em geral inferiores a 5% e, localmente, entre 5 e 10%. As formas de relevo de chapadas elevadas, suavemente onduladas, são predominantes. Ensaios de infiltração *in situ* apresentaram valores de condutividade da ordem de 10^{-5} a 10^{-6} m/s. Estes solos apresentam alta taxa de colapsividade.

O sistema P2, pedologicamente, é classificado como latossolos arenosos a siltosos. Os valores de Condutividade hidráulica variam na ordem de grandeza de 10^{-7} a 10^{-8} m/s.

O sistema P3, pedologicamente, é classificado como latossolo vermelho argiloso e localmente como cambissolo, com espessuras médias inferiores a 15 metros. Os valores de condutividade hidráulica variam entre 10^{-8} e 10^{-9} m/s. Quando os solos apresentam-se ricos em fragmentos rochosos (quartzitos desagregados) a condutividade hidráulica pode ser incrementada, melhorando as características gerais deste sistema aquífero poroso.

O sistema P4 é composto por cambissolos litólicos e litossolos rasos com tonalidade variando de rosado a amarelado. Apresenta condutividade hidráulica muito baixa. Está localizado em regiões com relevo movimentado, escavado em vales dissecados com formas de relevo convexo e côncavo e desníveis consideráveis, onde as declividades superiores a 10% recobrem a maior porção da área.

4.1.6.2- DOMÍNIO FRATURADO

Nos aquíferos do Domínio Fraturado a água ocupa os espaços representados pelos planos de fraturas, microfraturas, diáclases, juntas, zonas de cisalhamento e falhas. No Distrito Federal o substrato rochoso é representado por metassedimentos, portanto, os espaços intergranulares foram preenchidos durante a litificação e o metamorfismo. Dessa forma, os eventuais reservatórios existentes nas rochas estão inclusos dentro do Domínio Fraturado.

Esses aquíferos estão restritos a zonas que variam de poucos metros a centenas de metros e podem ser livres ou confinados, eles compõem o sistema de águas subterrâneas profundas. Normalmente se limita à profundidade de 250 m.

A Figura 4.7 apresenta as subdivisões do domínio fraturado.

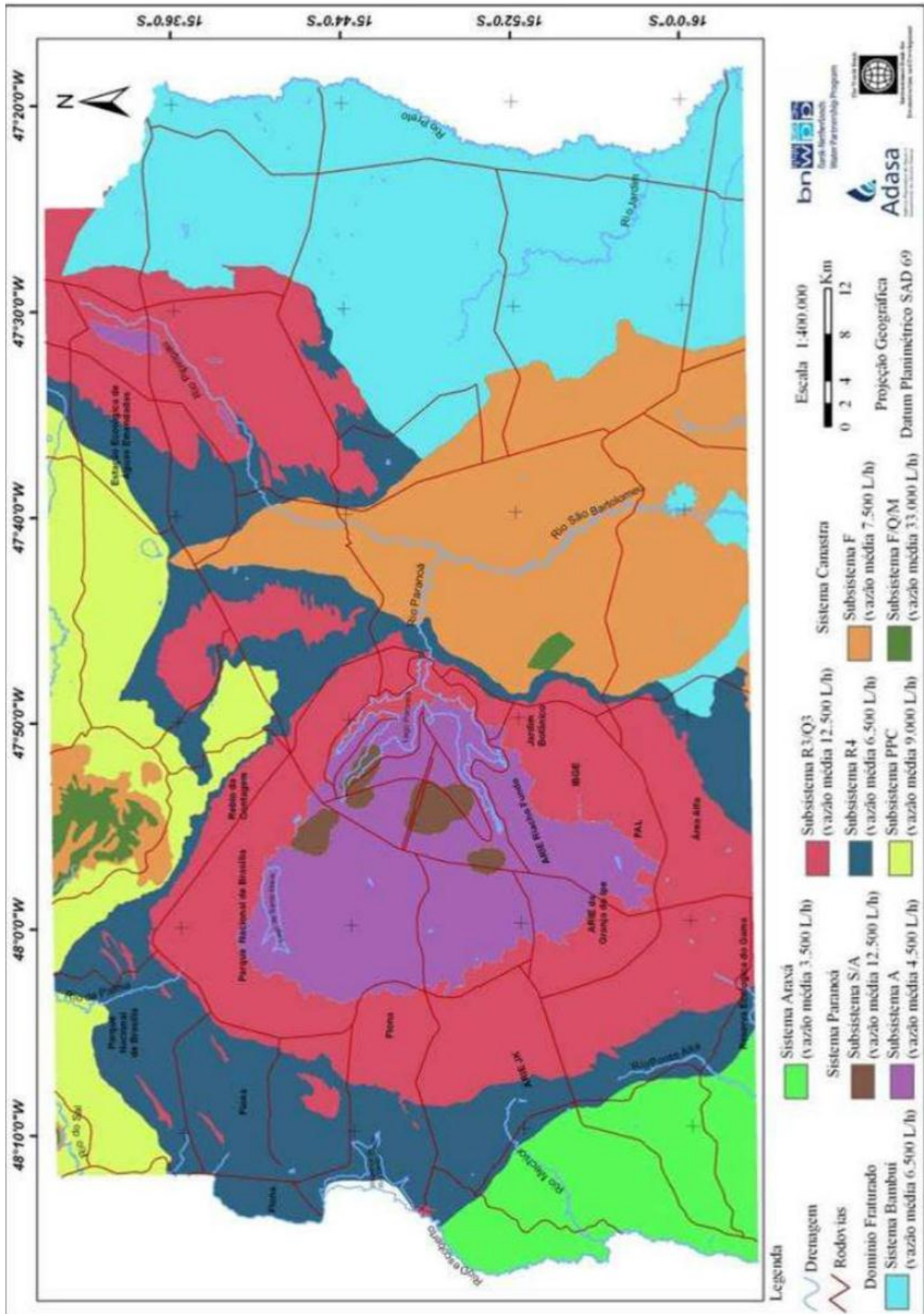


Figura 4.7 - Mapa Hidrogeológico do Distrito Federal (Adasa, 2011)

Os parâmetros que controlam a permeabilidade estão ligados à quantidade e persistência de fraturas e descontinuidades e não mais ao coeficiente de permeabilidade. A vazão destes poços está ligada ao tipo de rocha, nas rochas quartzosas a vazão tende a ser maior que em metassiltitos e ardósias.

O subsistema S/A é composto pelas litologias pertencentes à Unidade Metassilito, representa um subsistema importante, pois está situado em áreas com grande densidade de ocupação urbana, sendo aproveitado como fonte alternativa de abastecimento. Apresenta média de vazões da ordem de 12.700 L/h.

O subsistema A correspondente à maior parte das áreas de afloramentos da Unidade Ardósia. Este subsistema apresenta densidade de fraturas bastante elevada, mas com acomodação, devido às pressões litostáticas, apresentando, por este motivo as menores vazões médias, da ordem de 4.300 L/h.

O subsistema R3/Q3 apresenta grande distribuição das descontinuidades por todo o maciço rochoso. Este subsistema aquífero apresenta importância hidrogeológica relativa local muito alta, com média de vazões de 12.200 L/h. Contribuem com 25% do abastecimento público do Distrito Federal.

4.2- DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS - LABORATÓRIO X SONDAgens

Neste item são apresentadas as análises estatísticas básicas, as etapas de elaboração e validação assim como os modelos criados a partir dos ensaios de laboratório.

Toda a análise foi feita em duas partes: a primeira considerando toda a amostra e a segunda foi feita subdividindo-se os solos por tipos.

4.2.1- ANÁLISE EXPLORATÓRIA GERAL

Para esta análise considerou-se “grupo geral” todas as amostras, sem nenhum tipo de separação.

O primeiro passo no processo de desenvolvimento dos modelos é a verificação da existência de subpopulações dentro do universo amostral. Neste item são apresentados os resultados das análises estatísticas básicas para os principais atributos observados.

N_{SPT}

A Figura 4.8 apresenta o histograma com linha de tendência para os valores de N_{SPT} do grupo geral.

A avaliação da curva de distribuição normal apresentada na Figura 4.1 sugere a existência de dois ou até mesmo três grupos distintos.

O fato observado está muito bem relacionado com a realidade do subsolo do Distrito Federal. Este normalmente apresenta uma camada espessa de solo argiloso onde os valores de N_{SPT} são relativamente baixos e pouco variável seguida por uma camada de solo saprolítico, mais resistente e com N_{SPT} muito variável.

A camada de saprólito ainda pode ser subdividida em duas, uma mais branda, normalmente se apresenta na cor amarela e uma mais resistente, normalmente na cor roxa. Deve-se fazer uma ressalva a respeito da camada de solo argiloso, esta pode apresentar grande variação nos valores de N_{SPT} quando ocorrem camadas de concreções lateríticas.

A Figura 4.9 apresenta o gráfico *Box plot* para os valores de N_{SPT} deste grupo. Este gráfico aponta para uma distribuição assimétrica dos valores de N_{SPT} , típico para este atributo. A média (8,3) está mais próxima dos valores comumente obtidos em solos porosos lateríticos superficiais da região, o que ocorre devido ao maior número de dados nesta camada.

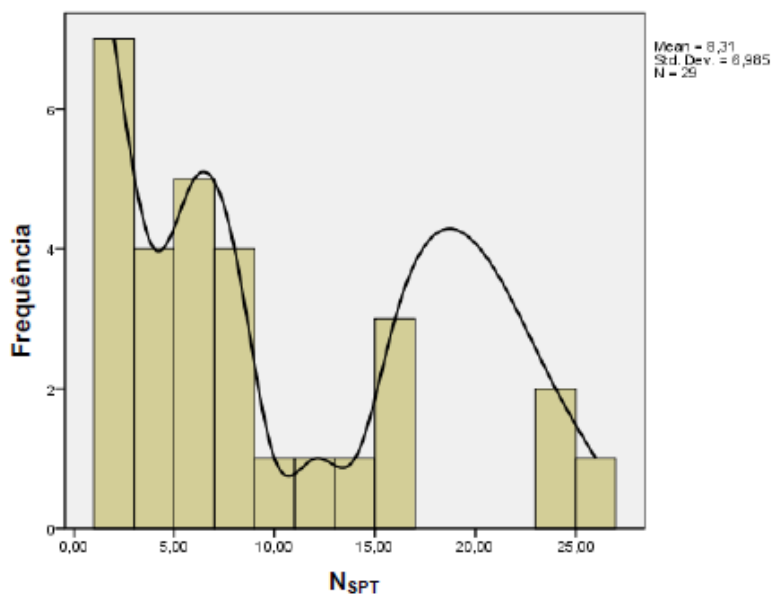


Figura 4.8 - Histograma com linha de tendência para os valores de N_{SPT} – Grupo Geral.



Figura 4.9 - Gráfico do tipo *Box plot* para valores de N_{SPT} – Grupo Geral.

Coesão Natural

Em relação aos parâmetros, foram avaliados a coesão e o ângulo de atrito já que são considerados os principais alvos deste trabalho. As Figuras 4.10 e 4.11 apresentam, respectivamente, o histograma com curva de distribuição normal e o gráfico do tipo *Box plot* para o parâmetro de coesão natural (cn).

A avaliação do histograma permite afirmar que os valores para o respectivo parâmetro se apresentam em forma de distribuição normal, não permitindo a inferência de nenhum subgrupo nesse universo amostral.

A avaliação do gráfico tipo *Box plot*, juntamente com a média e o desvio padrão permite afirmar que os valores se concentram próximos à média (42 kPa) apresentando desvio padrão na direção dos valores mais elevados.

O gráfico tipo *Box plot* ainda indica a ocorrência de um ponto destoante dos demais.

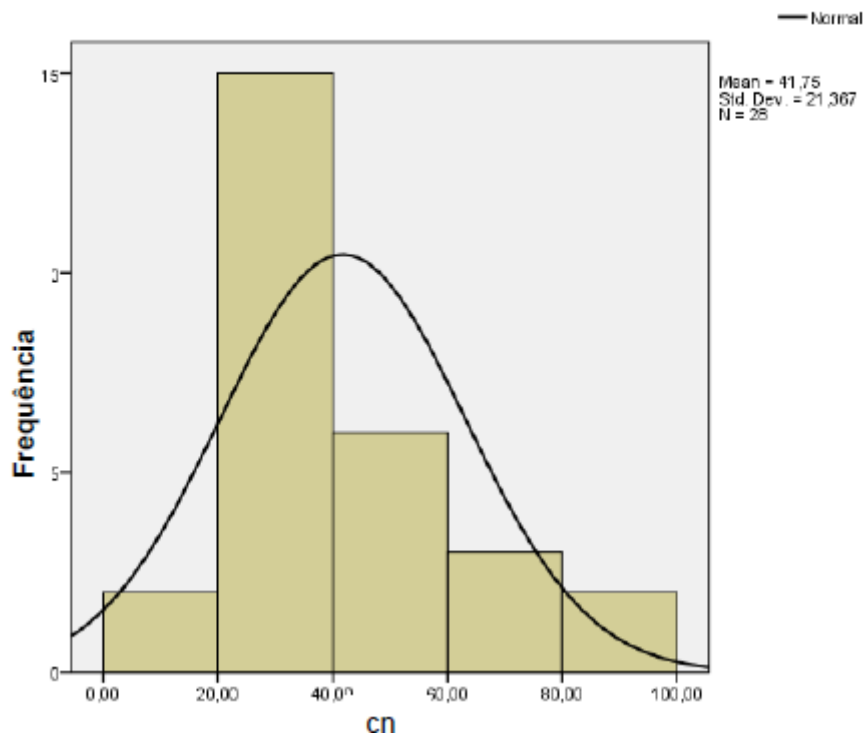


Figura 4.10 - Histograma para os valores de coesão natural – Grupo Geral.

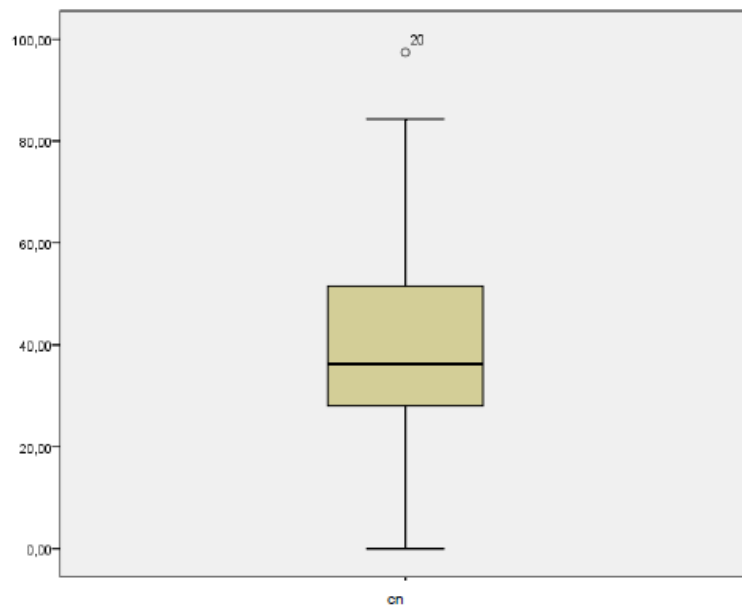


Figura 4.11 - Gráfico do tipo *Box plot* para valores de coesão natural – Grupo Geral.

Ângulo de Atrito Natural

A Figura 4.12 apresenta o histograma com curva de distribuição normal para o parâmetro de ângulo de atrito natural (ϕ_n).

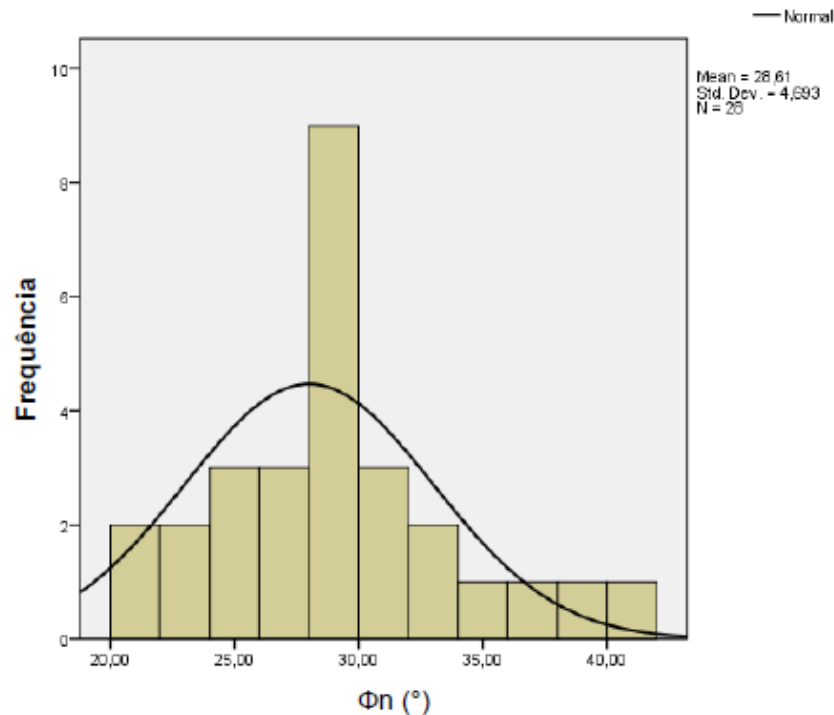


Figura 4.12 - Histograma para os valores de ângulo de atrito natural – Grupo Geral.

A avaliação deste gráfico permite afirmar que existe uma tendência de distribuição normal além de uma forte tendência de concentração de valores em torno da média (28°).

A Figura 4.13 apresenta o gráfico do tipo *Box plot* para o parâmetro de ângulo de atrito natural (ϕ_n).

Este gráfico permite avaliar a concentração dos dados próximos à média (28°) aliada com um pequeno desvio padrão (4,7) com tendência para valores inferiores à média.

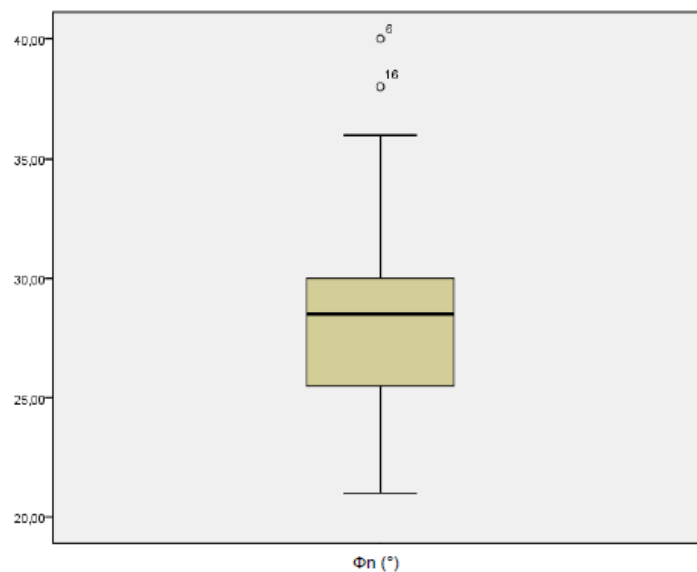


Figura 4.13 - Gráfico do tipo *Box plot* para valores de ângulo de atrito natural – Grupo Geral.

As análises exploratórias foram realizadas com o objetivo de identificar possíveis subpopulações dentro do universo amostral. Outro objetivo foi a avaliação do comportamento estatístico de cada uma das variáveis componentes do banco de dados.

As subpopulações foram identificadas com base na avaliação criteriosa dos dados do ponto de vista geotécnico à luz da estatística descritiva.

Do ponto de vista geotécnico têm-se notadamente ao menos duas populações distintas, a primeira composta por solos predominantemente argilosos e a segunda composta por solos silto-arenosos.

A confirmação da existência subpopulações foi realizada com base na avaliação de histogramas para os principais parâmetros e propriedades, sendo eles: N_{SPT} , coesão e ângulo de atrito.

Esta etapa de trabalho permitiu inferir que, do ponto de vista estatístico, o universo amostral poderia ser compreendido como uma unidade, enquanto que, sob o ponto de vista geotécnico, existem nitidamente ao menos os dois subgrupos já citados. Adotou-se a divisão em dois subgrupos.

A avaliação do comportamento estatístico dos principais parâmetros dentro de seus respectivos subgrupos se deu pela avaliação de gráficos do tipo *Box plot* e por dados fornecidos pela estatística descritiva, como a média e o desvio padrão.

4.2.2- SOLOS POROSOS LATERÍTICOS SUPERFICIAIS

A experiência geotécnica aponta os solos porosos lateríticos superficiais como uma classe muito importante para a engenharia, deste modo verificou-se a possibilidade de separá-los em um grupo específico.

Os solos porosos lateríticos superficiais representam a maior parte dos solos superficiais do Distrito Federal. Sua espessura é muito variável, apresenta-se em camadas de poucos metros a até dezenas de metros.

4.2.2.1- CARACTERIZAÇÃO

Nos boletins de sondagem este tipo de solo é normalmente descrito como argiloso e se apresenta, na maioria das vezes, com coloração avermelhada e textura variando entre fina e média. A Tabela 4.1 apresenta os dados selecionados para o desenvolvimento dos modelos.

Observa-se que os percentuais de argila e silte, em alguns momentos, destoam da classificação estipulada, isso se deve ao fato de ter-se escolhido a classificação mencionada nos boletins de sondagem. Os percentuais de argila e silte se referem a ensaios de granulometria com o uso de defloculante.

A Tabela 4.1 relaciona a classificação obtida nos boletins de sondagem, juntamente com a profundidade e o N_{SPT} , com os atributos encontrados em laboratório: percentual de argila e silte, índice de vazios, limite de liquidez, índice de plasticidade, peso específico real dos grãos além dos parâmetros de resistência: coesão e ângulo de atrito nas condições de umidade natural e saturado.

Deve-se ressaltar que a ligação entre os dados de laboratório e sondagem são a proximidade física entre os pontos de coletas. Ambos foram coletados em um raio inferior a 500m.

Os campos em branco, a princípio, eram uma preocupação, entretanto, verificou-se que os mesmos podem ser completados através de algumas boas correlações encontradas entre os atributos.

A Tabela 4.2 apresenta as características, do ponto de vista estatístico, dos atributos utilizados na elaboração dos modelos. Para os principais atributos apresenta-se ainda no item Análise Exploratória uma avaliação mais detalhada de seu comportamento estatístico.

Tabela 4.1 - Dados utilizados na elaboração dos modelos de laboratório para solos porosos lateríticos superficiais.

Clas	Prof. (m)	N _{SPT}	Argila (%)	Silte (%)	e	W _L	IP	G _s	cn (kPa)	φ _n (°)	cs (kPa)	φ _s (°)
Argila	3	12										
Argila	3	2	43,0	26,4		50,0	15,0	2,8	52,0	21,0	17,0	25,0
Argila	3	2	15,9	73,6	2,1			2,7	51,0	23,0	0,0	29,0
Argila	4	3	74,4	16,4	2,0	52,0	14,0	2,8	19,0	25,0	11,0	28,0
Argila	5	2	38,5	14,3	1,3			2,8	26,9	29,0	0,0	28,0
Argila	5	2	52,8	27,3	1,4			2,8	33,0	40,0	0,0	32,0
Argila	5	4	81,3	14,2	1,3			2,7	35,0	25,0		
Argila	6	4	68,5	14,5	1,3	46,0	13,0	2,7	33,0	24,0	29,0	25,0
Argila	6	5	46,5	21,5		54,0	16,0	2,8	32,0	30,0	15,0	33,0
Argila	6	2	74,4	15,2	1,3	55,0	16,0	2,8	38,0	29,0	6,0	31,0
Argila	7	3	32,9	66,1	1,6			2,7	55,0	23,0	0,0	31,0
Argila	9	10	46,3	26,7	1,4	43,0	14,0	2,8	29,0	29,0	25,0	23,0
Argila	10	6	44,2	23,1	1,1			2,8	37,4	28,0	7,8	30,0
Argila	10	6	44,4	20,6	1,1			2,8	39,5	28,0	20,8	30,0
Argila	10	16	84,0	11,0	1,4			2,7	79,0	34,0		
Argila	12	25	38,5	30,6	1,1	36,0	9,0	2,8	31,0	38,0	18,0	25,0
Argila	15	15	28,6	21,1	1,2			2,7	42,6	29,0	5,6	35,0
Argila	15	15	57,6	15,8	1,3			2,8	72,5	28,0	45,2	29,0
Argila	20	24	26,2	19,4	1,1			2,7	84,3	29,0	43,0	29,0

Tabela 4.2 - Descrição estatística dos dados utilizados na elaboração dos modelos de laboratório para solos porosos lateríticos superficiais.

	Média	Mediana	Desvio padrão	Variância	Mínimo	Máximo
<i>Prof. (m)</i>	8,7	6,5	5,3	28,2	3,0	20,0
<i>NSPT</i>	9,1	5,5	8,1	65,1	2,0	25,0
<i>Argila (%)</i>	48,7	44,4	19,9	394,8	15,9	84,0
<i>Silte (%)</i>	24,9	20,6	16,8	280,7	11,0	73,6
<i>e</i>	1,4	1,3	0,3	0,1	1,1	2,1
<i>wL</i>	48,0	50,0	6,8	46,3	36,0	55,0
<i>IP</i>	13,9	14,0	2,4	5,8	9,0	16,0
<i>Gs</i>	2,8	2,8	0,0	0,0	2,7	2,8
<i>cn (kPa)</i>	45,7	37,7	21,6	467,1	19,0	97,4
<i>ϕ_n (°)</i>	28,2	28,0	4,8	22,6	21,0	40,0
<i>cs (kPa)</i>	14,6	13,0	14,2	201,0	0,0	45,2
<i>ϕ_s (°)</i>	29,3	29,5	3,3	10,6	23,0	35,0

4.2.2.2- ANÁLISE EXPLORATÓRIA

Neste item são apresentadas análises exploratórias para os principais atributos considerados no processo de elaboração de modelos.

NSPT

As Figura 4.14 e 4.15 apresentam, respectivamente, o histograma com curva de distribuição normal e o gráfico do tipo *Box plot* para os valores de NSPT.

A avaliação do histograma permite inferir que existe uma distribuição bimodal destes valores o que pode ser explicado pela ocorrência eventual de camadas de concreções lateríticas, conferindo ao perfil de sondagem valores atípicos para este tipo de solo.

A avaliação do gráfico *Box plot* se encaixa na descrição de um perfil de sondagem completo, reforçando a ideia de ocorrência de concreções em alguns perfis de sondagem.

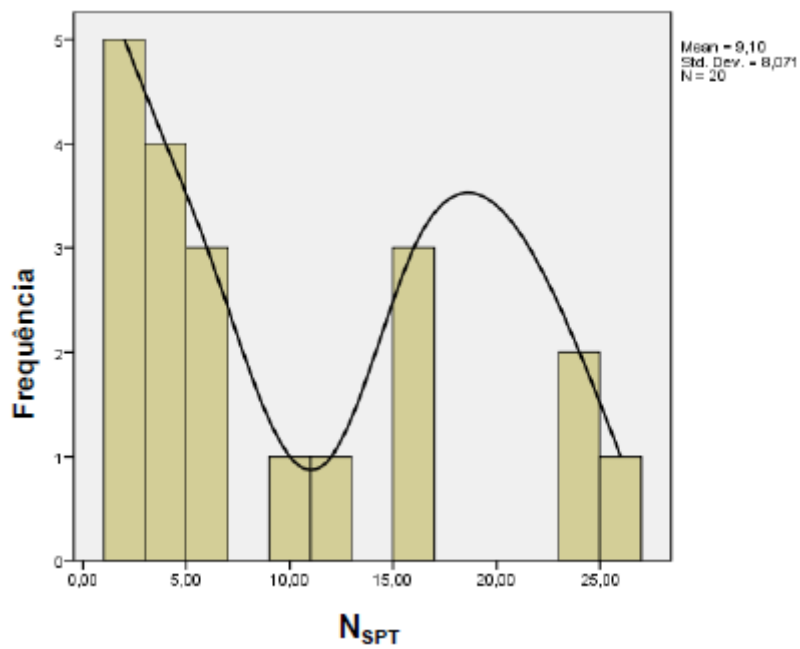


Figura 4.14 - Histograma para os valores de N_{SPT} – Solos porosos lateríticos superficiais.



Figura 4.15 - Gráfico do tipo *Box plot* para valores de N_{SPT} – Solos porosos lateríticos superficiais.

É interessante dizer que uma análise mais detalhada dos perfis de sondagem e uma maior descrição das amostras de solos em laboratório permitiriam separar estes dois grupos apontados nas Figuras 4.28 e 4.29, possibilitando uma previsão mais acurada das propriedades deste tipo de solo.

Coesão natural

A Figura 4.16 apresenta o histograma com curva de distribuição normal para o parâmetro de coesão natural (cn).

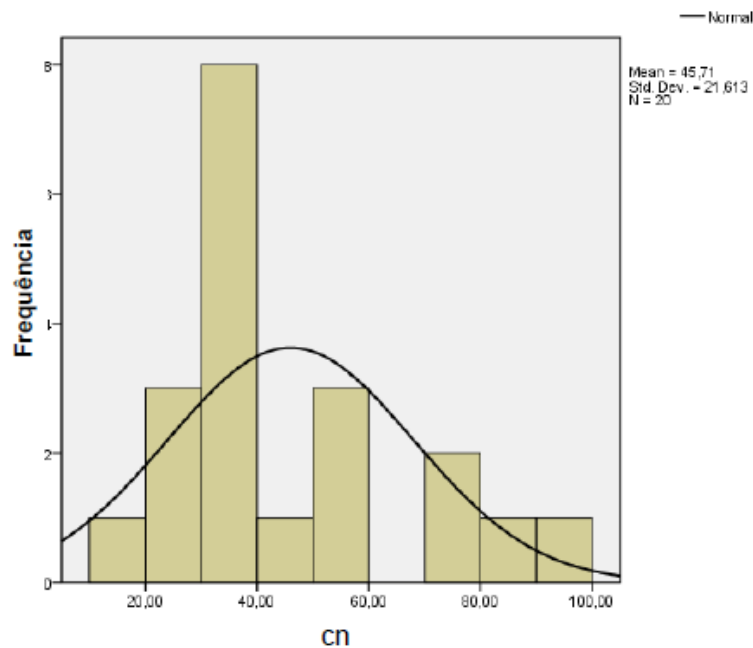


Figura 4.16 - Histograma para os valores de coesão natural (kPa) – Solos porosos lateríticos superficiais.

A avaliação do histograma permite afirmar que os valores para o respectivo parâmetro se apresentam em forma de distribuição normal, não permitindo a inferência de nenhum subgrupo nesse universo amostral.

Observa-se, entretanto, a ocorrência de descontinuidades entre 40 e 50 kPa e também entre 60 e 70 kPa que pode ser causada pela quantidade pequena de dados.

A Figura 4.17 apresenta o gráfico do tipo *Box plot* para o parâmetro de coesão natural (Cn).

A avaliação do gráfico tipo *Box plot*, juntamente com a média e o desvio padrão permite afirmar que os valores se concentram próximos à média (45 kPa) apresentando predomínio do desvio padrão na direção dos valores mais elevados.

Observa-se também a existência de um não pertencente a este grupo. A causa para este ponto pode estar relacionada à presença de algum material estranho a esse tipo de solo.

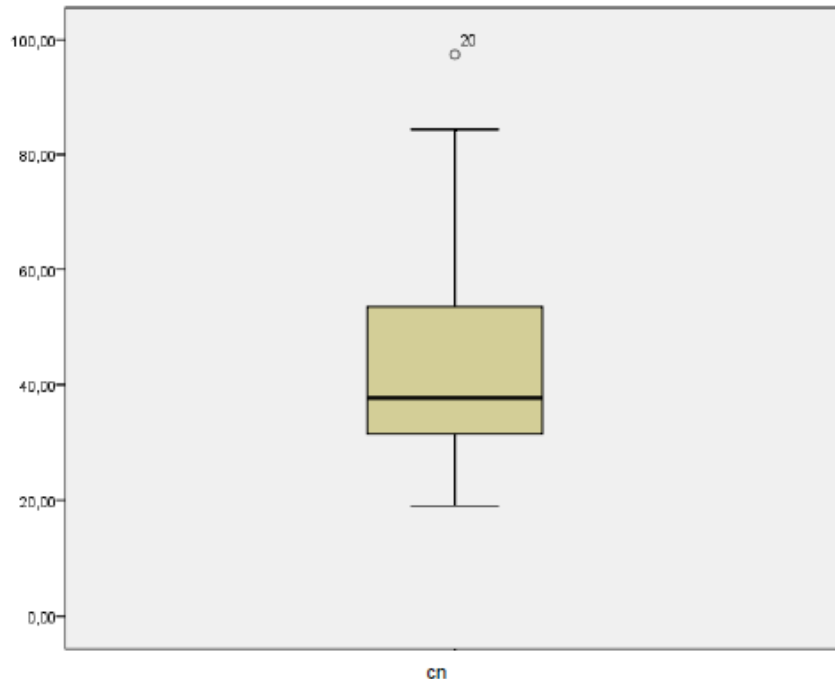


Figura 4.17 - Gráfico do tipo *Box plot* para valores de coesão natural (kPa) – Solos porosos lateríticos superficiais.

Ângulo de atrito natural

As Figura 4.18 e 4.19 apresentam, respectivamente, o histograma com curva de distribuição normal e o gráfico do tipo *Box plot* para os valores de ângulo de atrito natural.

A avaliação deste gráfico permite inferir que existe uma tendência de distribuição normal além de uma forte tendência de concentração de valores em torno da média (28°).

Observa-se também a ocorrência de duas lacunas, próximas aos valores de 33 e 37°. A experiência regional diz que valores de ângulo de atrito superiores a 33° são difíceis de encontrar para este tipo de solo, o que justificaria a sua baixa incidência.

O gráfico *Box plot* confirma a tendência de concentração de valores em torno da média e indica a existência de dois pontos destoantes do grupo, valores estes muito acima do que é normalmente encontrado para este tipo de solo. Sua ocorrência pode estar relacionada a algum material atípico a este tipo de solo, como pedregulhos ou macro concreções lateríticas.

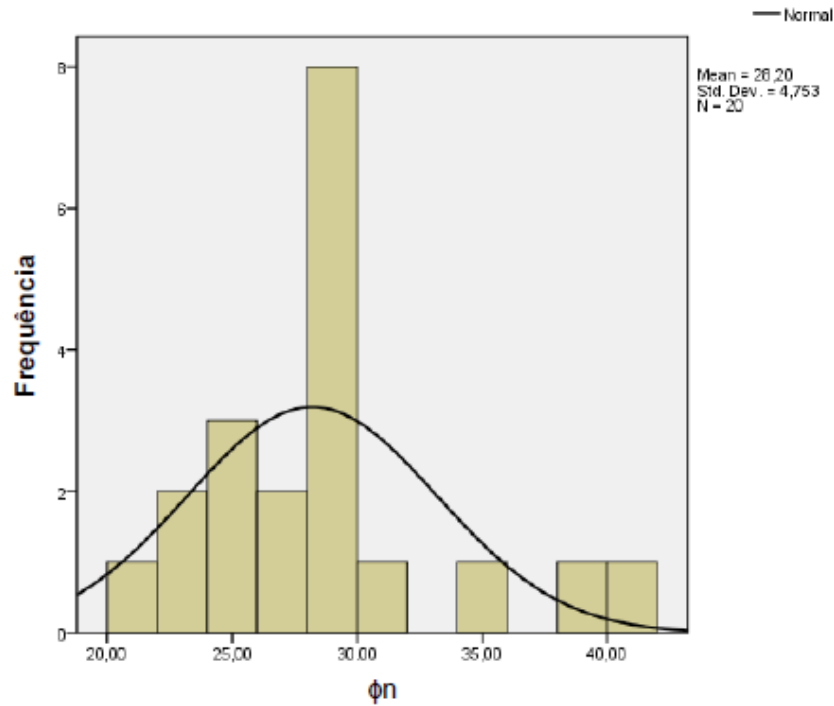


Figura 4.18 - Histograma para os valores de ângulo de atrito natural – Solos porosos lateríticos superficiais.

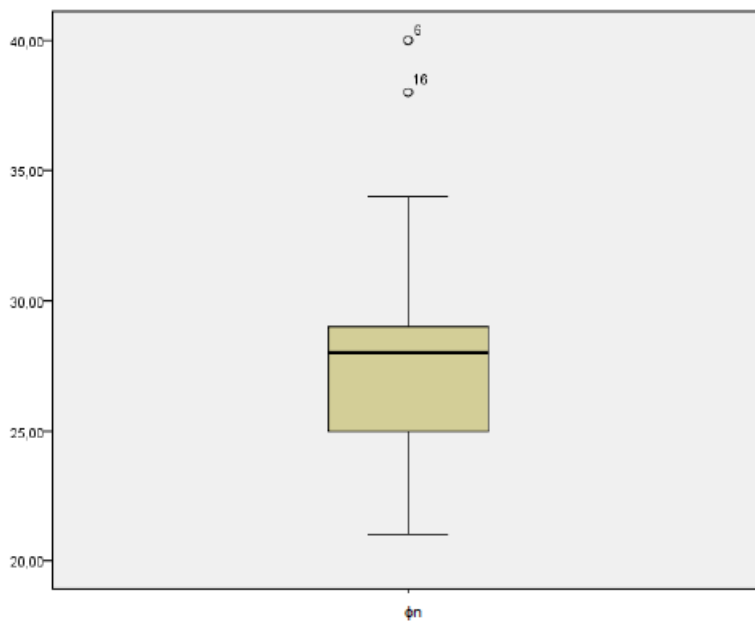


Figura 4.19 - Gráfico do tipo *Box plot* para valores de ângulo de atrito natural – Solos porosos lateríticos superficiais.

4.2.2.3- CORRELAÇÕES

A análise de correlações entre os atributos pertencentes a este grupo de solos resultou na tabela de correlações apresentados pela Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Correlação entre os principais parâmetros – solos porosos lateríticos superficiais.

	Prof. (m)	N _{SPT}	Argila (%)	Silte (%)	e	W _L (%)	IP(%)	G _s	cn (kPa)	φ _n (°)	cs (kPa)	φ _s (°)
Prof. (m)	1,0000											
N _{SPT}	0,8391	1,0000										
Argila (%)	-0,3479	-0,2706	1,0000									
Silte (%)	-0,2744	-0,2356	-0,5613	1,0000								
e	-0,5549	-0,4528	0,0048	0,5583	1,0000							
w _L (%)	-0,8116	-0,8811	0,5478	-0,6693	0,5513	1,0000						
IP (%)	-0,7359	-0,8828	0,3496	-0,4952	0,4179	0,9143	1,0000					
G _s	0,2559	0,3441	-0,1820	-0,2895	-0,2733	-0,1908	-0,1980	1,0000				
cn (kPa)	0,7068	0,6602	-0,2241	-0,0118	-0,1404	0,0165	0,0964	0,0188	1,0000			
φ _n (°)	0,2172	0,2725	0,1032	-0,2670	-0,3971	-0,5964	-0,6100	0,4705	-0,0788	1,0000		
cs (kPa)	0,6078	0,6047	0,1268	-0,4165	-0,3871	-0,5342	-0,4204	0,1333	0,4904	-0,0277	1,0000	
φ _s (°)	0,2091	-0,0939	-0,2452	0,0090	-0,0600	0,7842	0,6704	0,0764	0,2254	0,1051	-0,3733	1,0000

Correlação forte $r^2 > 0,7$

Correlação marcante $0,4 < r^2 < 0,7$

Correlação fraca $0,2 < r^2 < 0,4$

Correlação Insignificante $r^2 > 0,2$

cn –coesão natural; φ_n – ângulo de atrito natural; cs – coesão saturada; φ_s – ângulo de atrito saturado.

A tabela de correlações permitiu observar o grau de correlação entre cada um dos atributos disponíveis e assim determinar quais deveriam compor cada modelo.

Foram encontradas boas relações para praticamente todos os atributos, algumas já descritas na literatura como o caso do índice de vazios e o limite de liquidez e a coesão e a profundidade, no caso de solos residuais.

Observou-se também uma excelente correlação entre o limite de liquidez e índice de plasticidade com o valor de N_{SPT} (-0,88), essa boa relação foi utilizada para complementar os dados faltantes dos respectivos atributos, viabilizando assim o processo de regressão linear.

As relações obtidas permitiram complementar os campos faltantes destes parâmetros, possibilitando que os mesmos fossem aproveitados na elaboração dos modelos geotécnicos quando conveniente.

4.2.2.4- REGRESSÃO LINEAR

A partir da definição e divisão dos grupos de amostras a serem trabalhados determinou-se as melhores associações entre os atributos envolvidos. Essas associações foram utilizadas para quais variáveis comporiam cada modelo, além de auxiliar no preenchimento de dados ausentes.

Na determinação da relação entre w_L e IP utilizaram-se os dados apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Dados utilizados na relação entre w_L e IP.

w_L (%)	IP (%)
50	15
52	14
46	13
54	16
55	16
43	14
36	9

Na determinação da relação entre w_L e N_{SPT} utilizaram-se os dados apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Dados utilizados na relação entre w_L e N_{SPT} .

w_L (%)	N_{SPT}
50	2
52	3
46	4
54	5
55	2
43	10
36	25

Na relação entre ϕ_s (ângulo de atrito na condição saturada) e w_L utilizaram-se os dados da Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Dados utilizados na relação entre ϕ_s e w_L .

ϕ_s (°)	w_L (%)
32,0	50,0
28,0	52,0
25,0	46,0
33,0	54,0
31,0	55,0
23,0	43,0
25,0	36,0

Na previsão de c_n (coesão natural) utilizaram-se os dados apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Dados utilizados na relação previsão de c_n a partir de profundidade, N_{SPT} , índice de vazios e w_L .

c_n (kPa)	Prof. (m)	N_{SPT}	e	w_L (%)
51,0	3,0	2,0	2,1	51,8
19,0	4,0	3,0	2,0	52,0
26,9	5,0	2,0	1,3	51,8
33,0	5,0	2,0	1,4	51,8
35,0	5,0	4,0	1,3	50,4
33,0	6,0	4,0	1,3	46,0
38,0	6,0	2,0	1,3	55,0
55,0	7,0	3,0	1,6	51,1
29,0	9,0	10,0	1,4	43,0
37,4	10,0	6,0	1,1	48,9
39,5	10,0	6,0	1,1	48,9
31,0	10,0	16,0	1,4	41,7
42,6	12,0	25,0	1,1	36,0
72,5	15,0	15,0	1,2	42,4
84,3	15,0	15,0	1,3	42,4
97,4	20,0	24,0	1,1	35,9
79,0	20,0	24,0	1,3	35,9
31,0	10,0	16,0	1,4	41,7
42,6	12,0	25,0	1,1	36,0

Na determinação da relação entre o N_{SPT} profundidade, w_L , G_s e ϕ_n foram utilizados os dados apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Dados utilizados na determinação da relação entre N_{SPT} e a profundidade, w_L , G_s e ϕ_n .

N_{SPT}	Prof. (m)	w_L (%)	G_s	ϕ_n (°)
2	3	52	2,72	23
3	4	52	2,76	25
2	5	52	2,76	29
2	5	52	2,77	40
4	6	46	2,7	24
3	6	55	2,76	29
10	7	51	2,69	23
6	9	43	2,76	29
6	10	49	2,76	28
25	10	49	2,77	28
15	12	36	2,81	38
15	15	42	2,73	29
24	15	42	2,79	28
24	20	36	2,74	29

4.2.2.5- MODELOS

Dos vários produtos criados e da grande quantidade de relações possíveis são apresentadas apenas aquelas que são alvo de grande interesse de pesquisadores projetistas e executores em geotecnia.

Os parâmetros foram escolhidos de acordo com a importância para projeto, pesquisa, execução. As correlações foram escolhidas de acordo com sua relevância, significado físico e grau de correlação matemática.

Relação entre Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade

A literatura sempre apontou uma clara relação entre o índice de plasticidade e o limite de liquidez. Pode ser verificada, por exemplo, na Carta de Plasticidade de Casagrande, muito utilizada na classificação dos solos. Esta relação também foi observada neste trabalho.

A Equação 4.1 mostra a relação entre o índice de plasticidade e o limite de liquidez. O índice de plasticidade apresenta um valor residual negativo e cresce conforme o limite de liquidez aumenta.

$$IP(\%) = -1,68 + 0,32 \times w_L \quad r^2=0,91 \quad (4.1)$$

A Figura 4.20 apresenta a relação entre o índice de plasticidade previsto e efetivamente medido.

Nota-se uma excelente relação entre os dois atributos, com uma inclinação da reta próxima ao valor teórico perfeito (1,0).

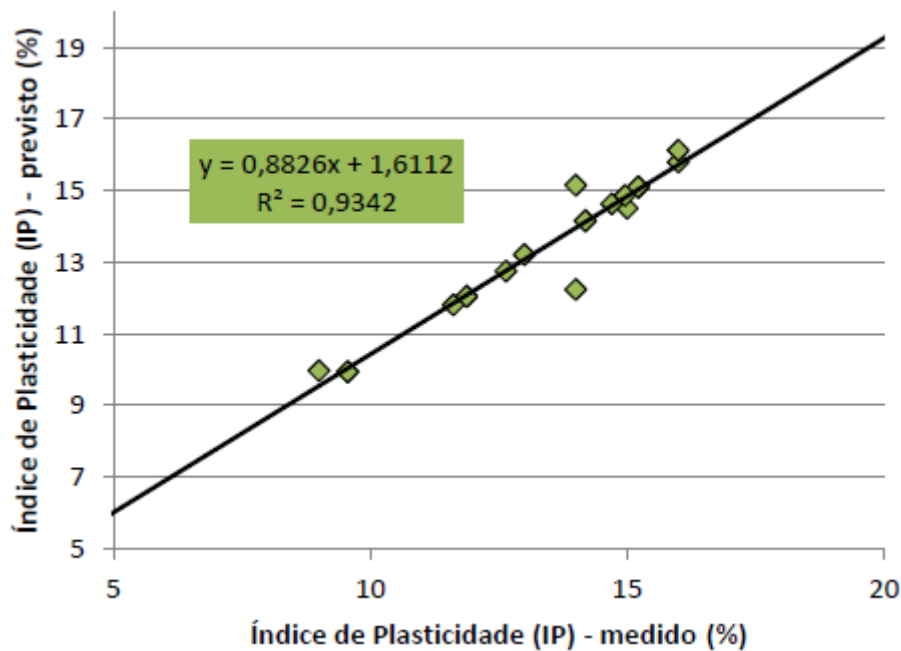


Figura 4.20 - Relação obtida entre o índice de plasticidade medido pela Equação 4.1 e previsto.

Inserindo os dados obtidos na Carta de Plasticidade de Casa Grande temos a classificação do solo estudado, variando entre ML e MH, como mostra a Figura 4.21.

Esta classificação está bastante coerente com o comportamento típico do solo desta camada laterítica superficial.

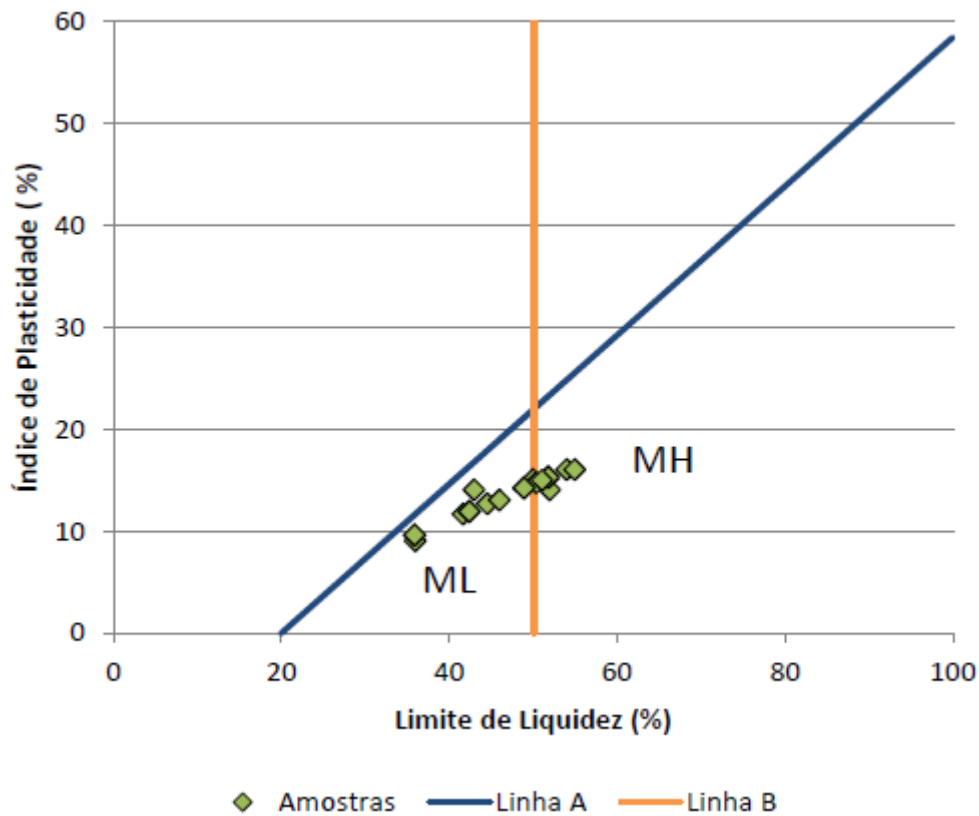


Figura 4.21 - Classificação das amostras a partir da Carta de Plasticidade de Casa Grande.

Relação entre Ângulo de Atrito Saturado e w_L

As correlações apresentadas no item 4.4.2.2 mostraram uma boa afinidade entre ϕ_s (ângulo de atrito na condição saturada) e o w_L (limite de liquidez). Pode-se dizer que a relação entre limite de liquidez e ângulo de atrito traduz uma interação entre as camadas de água que envolvem os grãos de solo justificando, portanto, a relação entre esses dois atributos.

A regressão linear realizada sobre os dados reunidos resultou na Equação 4.2.

$$\phi_s(^{\circ}) = 6,39 + 0,45 \times w_L \quad r^2=0,7842 \quad (4.2)$$

A equação mostra que o ângulo de atrito parte de um valor residual (6,39) e aumenta a uma taxa de 0,45x em relação ao limite de liquidez.

A Figura 4.22 apresenta a relação entre o ângulo de atrito medido e o previsto pela equação. Observa-se uma relação forte, apesar de uma tangente relativamente baixa. A explicação para isso pode-se dar na pequena variabilidade deste parâmetro.

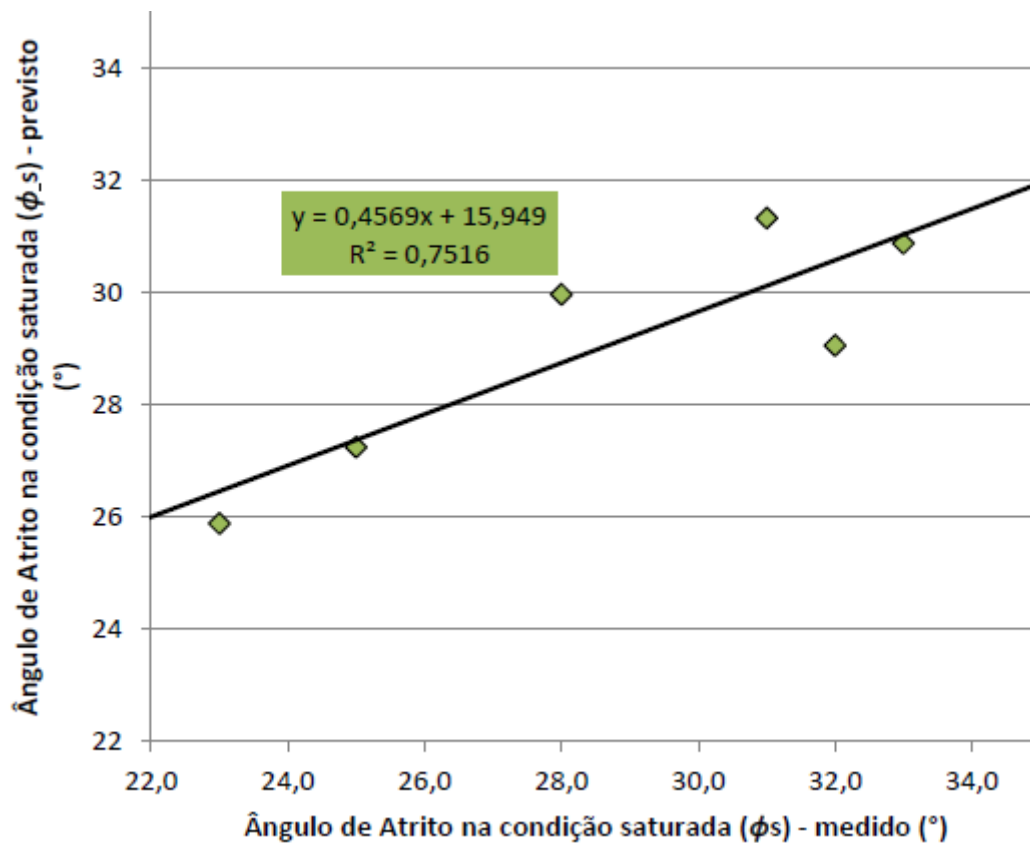


Figura 4.22 - Relação obtida entre o índice de plasticidade medido pela Equação 4.2 e previsto.

Relação entre Limite de Liquidez e N_{SPT}

O limite de liquidez é um parâmetro muito representativo do solo e participa da maioria dos sistemas de classificação do mesmo. A Figura 4.23 apresenta a relação obtida entre o limite de liquidez e o N_{SPT} .

A Equação 4.3 determina a relação obtida entre o limite de liquidez e o N_{SPT} . Observa-se que o limite de liquidez parte de um valor fixo e é reduzido conforme se incrementa a resistência à penetração do solo.

$$wL(\%) = 53,28 - 0,724 \times N_{SPT} \quad r^2=0,88 \quad (4.3)$$

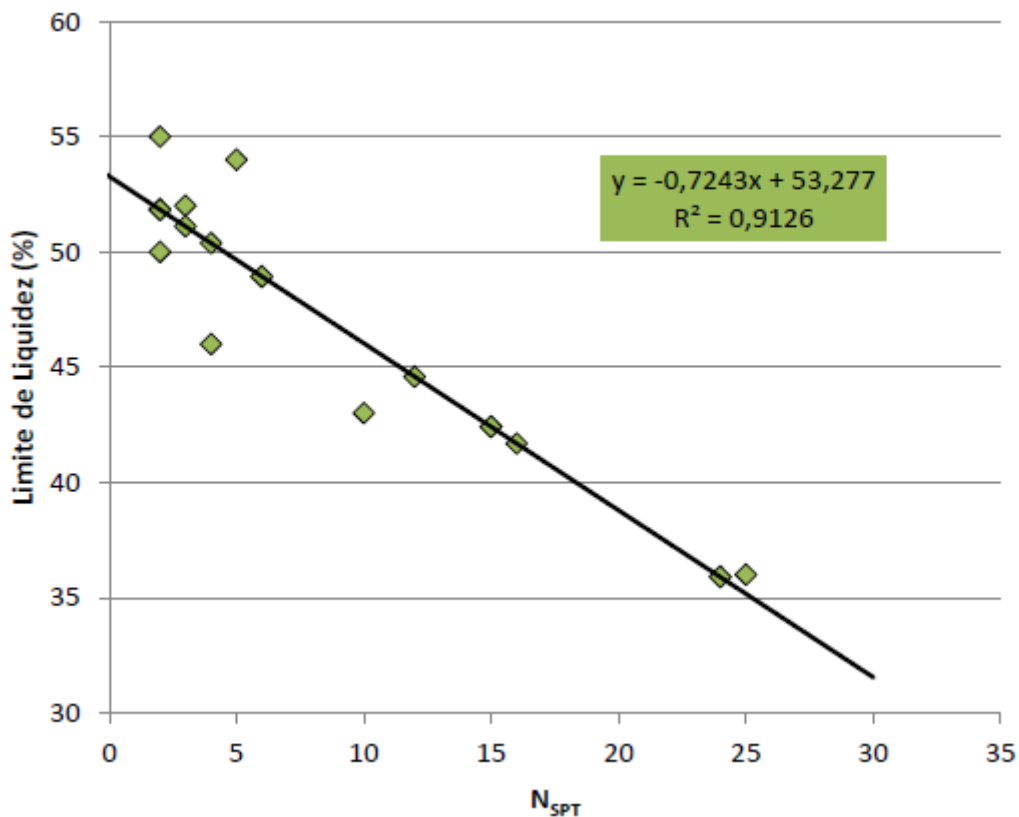


Figura 4.23 - Relação obtida entre o limite de liquidez e o N_{SPT} pela Equação 4.3.

Relação entre Ângulo de Atrito Natural e N_{SPT}

O ângulo de atrito está presente na maioria dos projetos de geotecnia, sua previsão a partir de ensaios simples como sondagens sempre foi de grande interesse por parte de pesquisadores, projetistas e executores.

Os modelos produzidos, entretanto, assim como na literatura, não obtiveram êxito. Observou-se que existe uma variabilidade relativamente pequena nesse parâmetro, o que faz com que sua correlação seja impraticável.

É interessante, entretanto, observar que sua baixa variabilidade pode ser útil nas estimações iniciais de parâmetros locais a fim de orçamentos preliminares.

A Figura 4.24 apresenta a variação do ângulo de atrito natural em relação ao N_{SPT} .

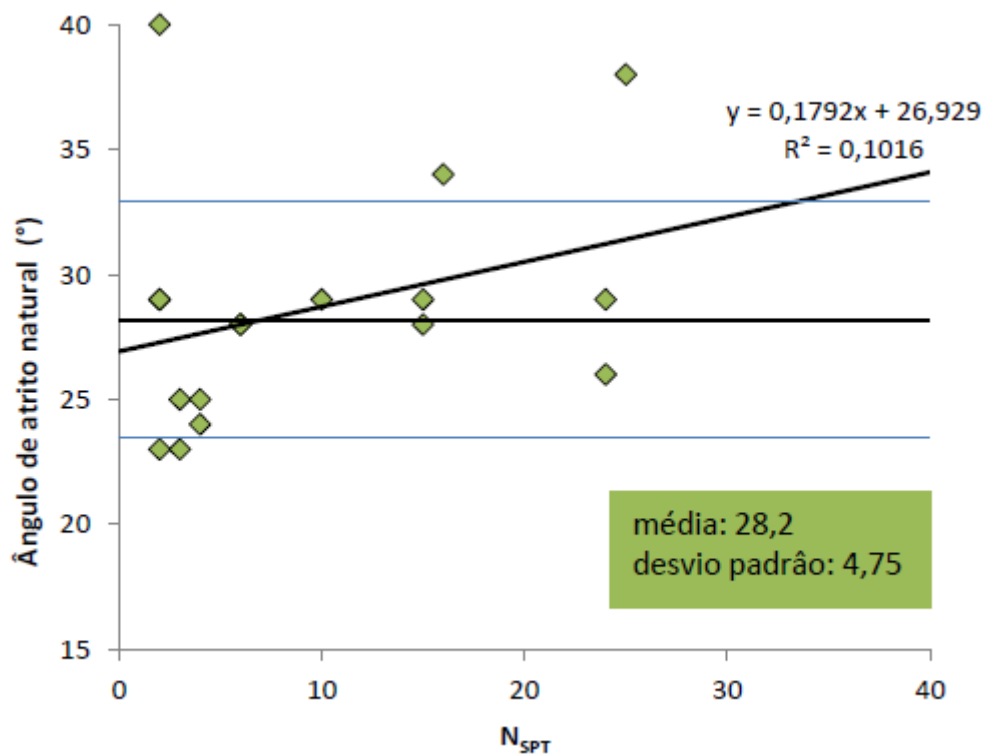


Figura 4.24 - Variação entre ângulo de atrito natural em função do N_{SPT}.

Relação entre Coesão Natural, Profundidade, Índice de Vazios, N_{SPT} e w_L

Assim como o ângulo de atrito, a coesão está presente na maioria dos projetos geotécnicos e a sua estimação a partir de ensaios de campo sempre foi alvo de pesquisas.

É importante lembrar que este é um parâmetro de difícil obtenção com a requerida acurácia, mesmo em laboratório. O que é comprovado pelo fato de que muitos projetistas adotam um coeficiente de segurança diferenciado para a coesão.

A Equação 4.4 apresenta a relação da coesão natural e diversos parâmetros.

$$cn \text{ (kPa)} = -17,7 + 4,5 \times Prof. + 0,18 \times N_{SPT} + 30,27 \times e + 0,71 \times wL \quad r^2=0,27(4.4)$$

A equação mostra que a coesão aumenta com a profundidade. Ou seja, a equação considera a influência do manto de intemperismo, pois sabe-se que o grau de intemperismo está diretamente ligado ao comportamento do solo e portanto dos valores apresentados por seus atributos.

A Figura 4.25 apresenta a relação entre os valores previstos pela equação e os efetivamente medidos.

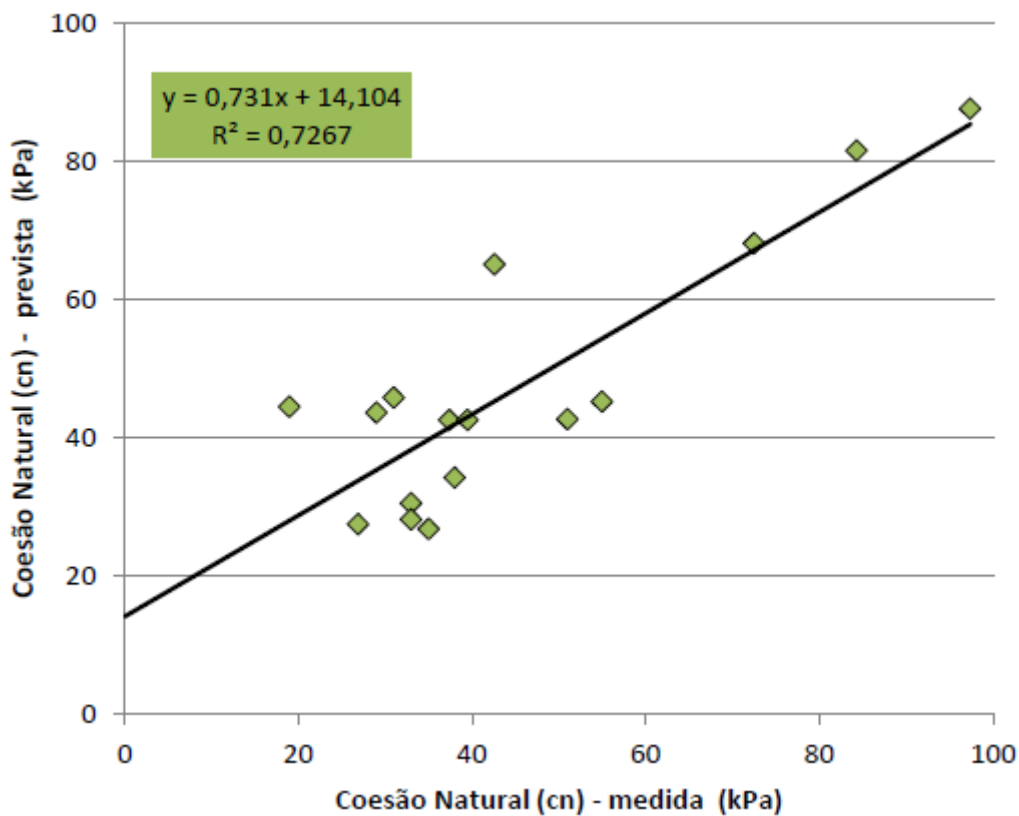


Figura 4.25 - Relação entre valores de coesão natural medidos pela Equação 4.4 e previstos.

Relação entre N_{SPT} , Profundidade, w_L , G_s e Ângulo de Atrito Natural

A sondagem do tipo SPT é o ensaio de campo mais difundido em geotecnia. Sua simplicidade aliada com o conhecimento técnico acumulado são responsáveis por esse fato.

Sempre se buscou relações entre ensaios de campo e de laboratório, para o SPT não é diferente. Desse modo a equação 4.5 apresenta uma relação obtida entre o N_{SPT} e vários atributos de laboratório.

$$N_{SPT} = -18,62 + 0,38 x Prof. - 0,96 x w_L + 27,86 x G_s + 0,07 x \phi_n \quad (4.5)$$

A Figura 4.26 mostra a relação entre o N_{SPT} previsto pelo modelo e o efetivamente medido.

Observa-se que se podem relacionar, de maneira consideravelmente satisfatória, informações obtidas em campo com informações obtidas em laboratório, isso porque, tanto os ensaios de campo quanto de laboratório procuram quantificar propriedades semelhantes do solo.

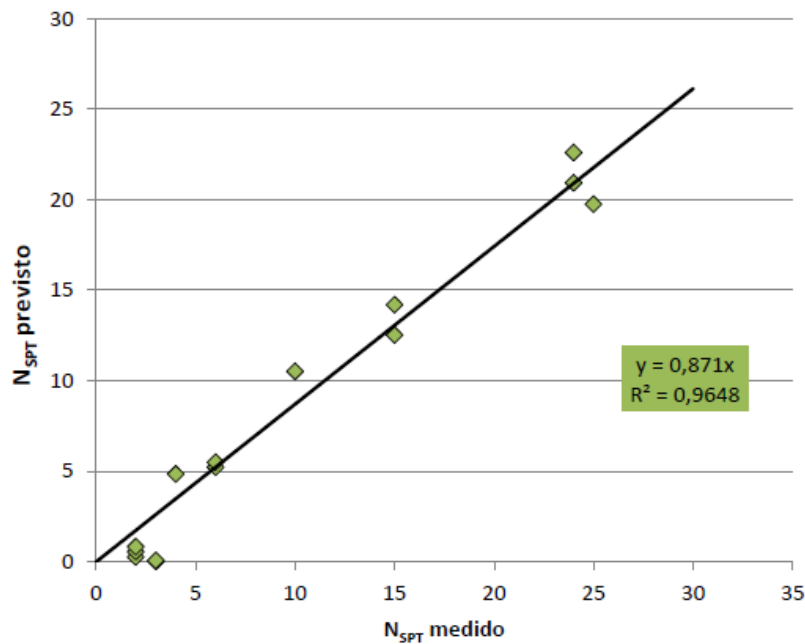


Figura 4.26 - Relação entre valores de NSPT medidos pela Equação 4.5 e previstos.

4.2.2.6- VALIDAÇÃO

Como já mencionado, os modelos criados foram submetidos ao processo de validação. Em relação aos modelos criados a partir dos dados de laboratório buscou-se prever os atributos de pontos não considerados na etapa de criação dos modelos.

Apesar da quantidade muito reduzida de dados para a etapa de validação obteve-se êxito no processo, observando comportamento coerente dos modelos em relação aos dados reservados para validação e até mesmo um nível de erro aceitável.

As Figuras 4.27 e 4.28 apresentam os erros verificados entre o modelo criado e o valor do grupo de validação para o limite de liquidez e índice de plasticidade, respectivamente.

Nestes casos calcularam-se, com o uso dos modelos gerados e a partir de um boletim de sondagens, os valores de Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade. Em seguida compararam-se os resultados obtidos com os dados do grupo de dados da validação.

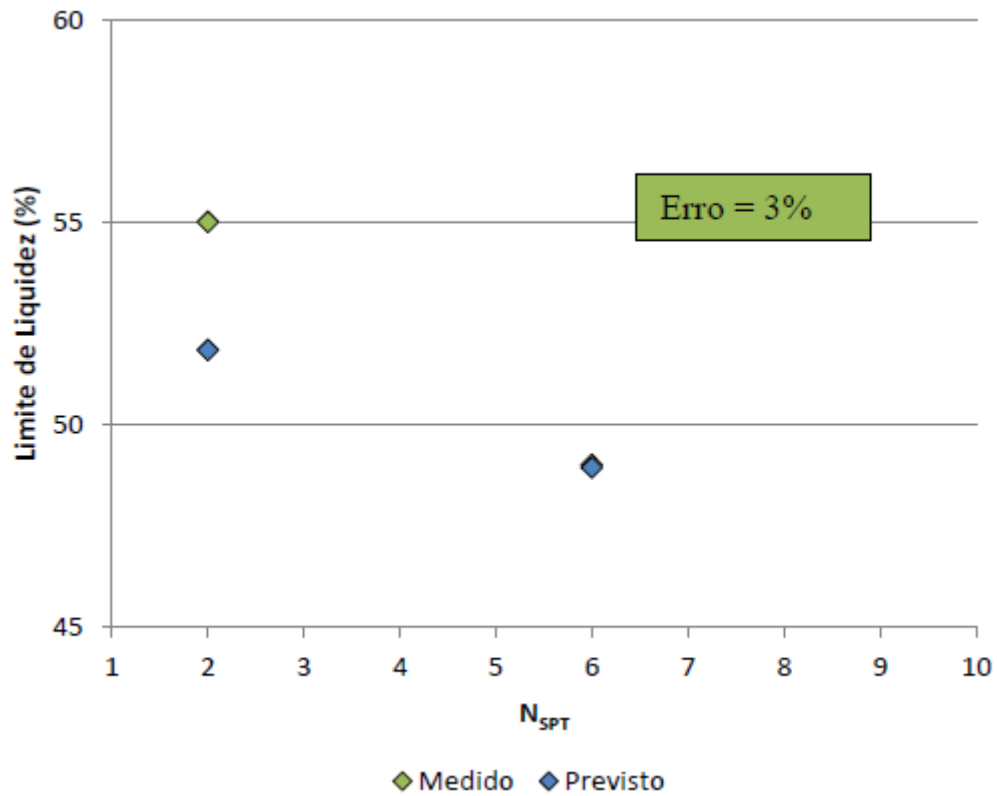


Figura 4.27 - Relação entre Limite de Liquidez e N_{SPT} medida pela Equação 4.3 e prevista.

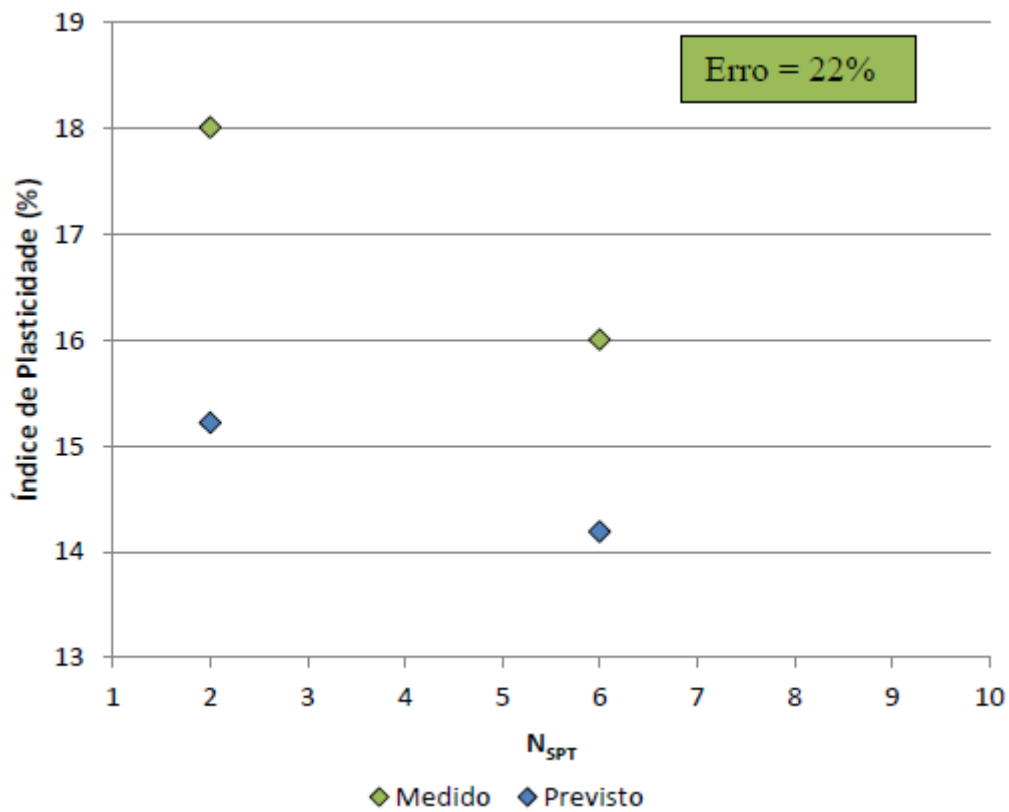


Figura 4.28 - Relação entre índice de plasticidade e N_{SPT} medida pela e prevista.

4.2.3- SOLOS SILTO-ARENOSOS

A experiência local aponta para a existência de uma camada de transição imediatamente abaixo das camadas argilosas. Tal camada tem se mostrado muito importante para a engenharia civil, especialmente para a engenharia de fundações, pois é sobre ela que se assentam a maioria das fundações profundas.

Deste modo buscou-se a criação de um grupo específico para os solos silto-arenosos. Infelizmente, os dados registrados nas planilhas de ensaio de campo não apresentavam, em sua maioria, descrições básicas do solo, como a cor. Este fato impossibilitou a descrição mais detalhada deste tipo de solo.

4.2.3.1- CARACTERIZAÇÃO

Nos boletins de sondagens as referências a este tipo de solo remontam a uma textura média com coloração muito variada, desde o branco, passando pelo amarelo até o roxo.

A Tabela 4.9 apresenta os dados utilizados no processo de elaboração dos modelos para os solos silto-arenosos.

A Tabela 4.10 apresenta as características, do ponto de vista estatístico, dos atributos utilizados na elaboração dos modelos. Para os principais atributos apresenta-se ainda no item Análise Exploratória uma avaliação mais detalhada de seu comportamento estatístico.

Tabela 4.9 - Dados utilizados na confecção dos modelos de laboratório para solos silto-arenosos

Class.	Prof. (m)	N _{SPT}	Argila (%)	Silte (%)	e	W _L (%)	IP (%)	G _s	cn (kPa)	n (°)	cs (kPa)	φ _s (°)
Silte	6	6							21	26	9	29
Silte	3	2	34,3	31,2	2	42	10	2,71	24	21	8	30
Silte	9	13	43,1	23,6	1,3	38	8	2,81	27	30	7	32
Areia	9	8	29	8,8		46	11	2,78	48	36	37,5	29
Silte	12	7	39,9	34,1		46	14	2,8	41	30	32	32
Silte	3	2	52,7	13,3		48	11	2,79	0	33	7	36
Silte	10	8	42,8	20,4		54	11	2,81	34	33	17	36
Areia	2	7	30,2	13	1,4	32	12	2,76				
Silte	12	6	35,7	54,3	1,3	49	15	2,77	60	28	17	25

Tabela 4.10 - Descrição estatística dos dados utilizados na elaboração dos modelos de laboratório para solos silto-arenosos.

	Média	Mediana	Desvio padrão	Variância	Mínimo	Máximo
<i>Prof. (m)</i>	7,3	9,0	3,9	15,5	2,0	12,0
<i>N_{SPT}</i>	6,6	7,0	3,3	11,0	2,0	13,0
<i>Argila (%)</i>	38,5	37,8	7,8	61,1	29,0	52,7
<i>Silte (%)</i>	24,8	22,0	14,9	220,9	8,8	54,3
<i>e</i>	1,5	1,4	0,3	0,1	1,3	2,0
<i>w_L (%)</i>	44,4	46,0	6,9	47,4	32,0	54,0
<i>IP (%)</i>	11,5	11,0	2,2	4,9	8,0	15,0
<i>G_s</i>	2,8	2,8	0,0	0,0	2,7	2,8
<i>cn (kPa)</i>	31,9	30,5	18,4	337,0	0,0	60,0
<i>φ_n (°)</i>	29,6	30,0	4,7	22,0	21,0	36,0
<i>cs (kPa)</i>	16,8	13,0	11,9	141,4	7,0	37,5
<i>φ_s (°)</i>	31,1	31,0	3,7	13,8	25,0	36,0

4.2.3.2- ANÁLISE EXPLORATÓRIA

Neste item são apresentadas as análises exploratórias realizadas para os solos silto-arenosos.

Coesão natural

A Figura 4.29 apresenta o histograma com curva de distribuição normal para o parâmetro de coesão natural (cn).

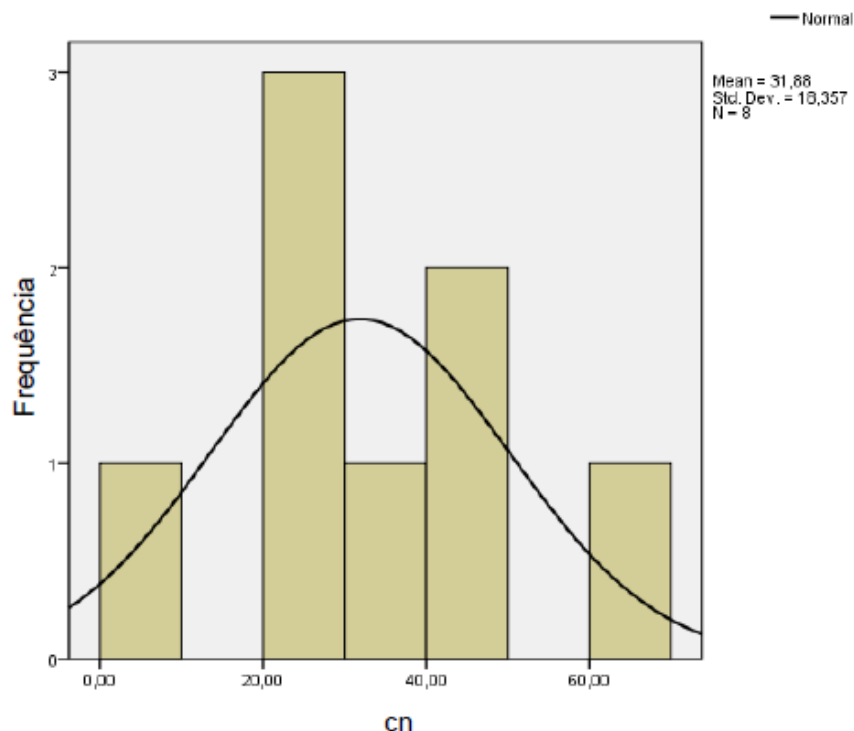


Figura 4.29 - Histograma para os valores de coesão natural.

A avaliação do histograma permite afirmar que os valores para o respectivo parâmetro se apresentam em forma de distribuição normal, não permitindo a inferência de nenhum subgrupo nesse universo amostral.

Tal observação não implica na inexistência de subgrupos. Na realidade sabe-se da ocorrência de dois tipos principais de saprólitos, um menos resistente e de coloração amarelada e outro mais resistente de coloração arroxeada.

A Figura 4.30 apresenta o gráfico do tipo *Box plot* para o parâmetro de coesão natural (cn).

A avaliação do gráfico tipo *Box plot*, juntamente com a média e o desvio padrão permite afirmar que os valores se concentram próximos à média (32 kPa) apresentando predomínio do desvio padrão na direção dos valores mais elevados.

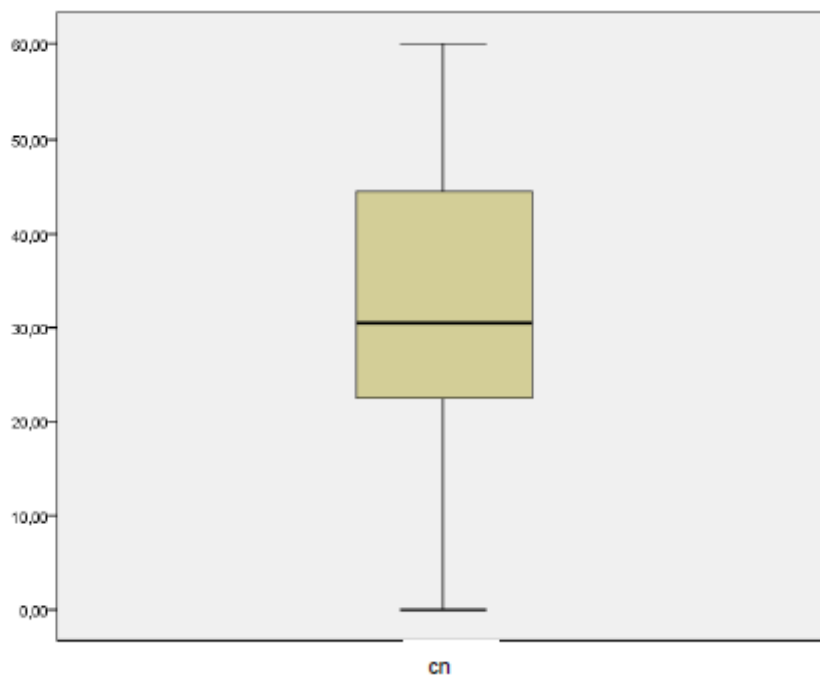


Figura 4.30 - Gráfico do tipo *Box plot* para valores de coesão natural.

Ângulo de atrito natural

As Figura 4.31 e 4.32 apresentam, respectivamente, o histograma com curva de distribuição normal e o gráfico do tipo *Box plot* para os valores de ângulo de atrito natural.

A avaliação deste gráfico permite inferir que existe uma tendência de distribuição normal além de uma forte tendência de concentração de valores em torno da média (29°).

O gráfico do tipo *Box plot* permite observar a concentração dos valores próxima à média (29°) e uma distribuição normal simétrica.

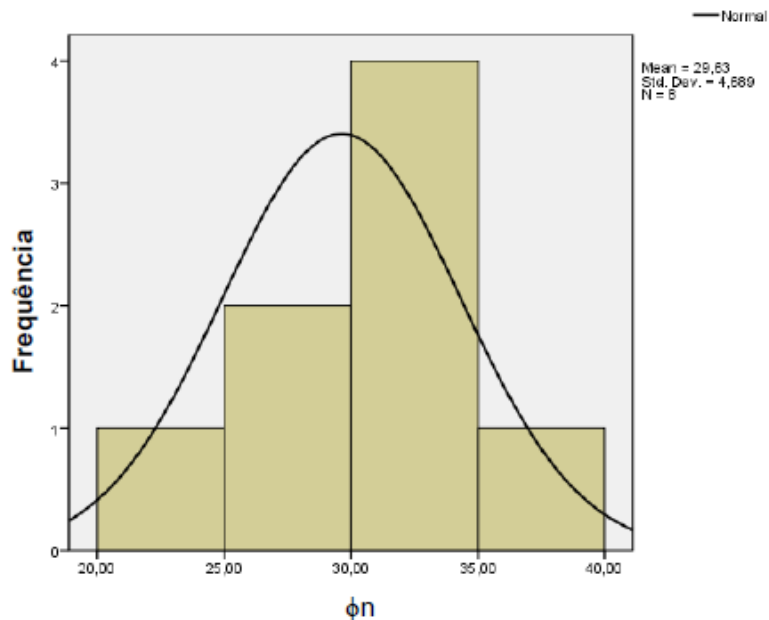


Figura 4.31 - Histograma para os valores de ângulo de atrito natural – Solos silto-arenosos.

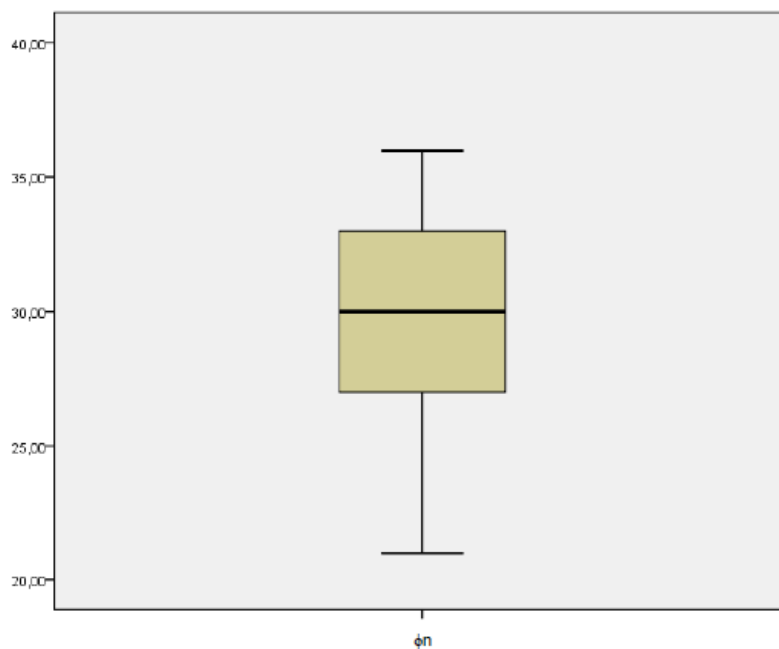


Figura 4.32 - Gráfico do tipo *Box plot* para valores de ângulo de atrito natural.

4.2.3.3- CORRELAÇÕES

De maneira análoga ao grupo de solos porosos lateríticos superficiais a análise de correlações entre os atributos pertencentes ao grupo de solos silto-arenosos resultou na tabela de correlações apresentados pela Tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Correlação entre os principais parâmetros – solos silto-arenosos.

	Prof. (m)	N_{SPT}	Argila (%)	Silte (%)	e	w_L (%)	IP (%)	G_s	c_n (kPa)	ϕ_n (°)	c_s (kPa)	ϕ_s (°)
Prof. (m)	1,000											
N_{SPT}	0,519	1,000										
Argila (%)	-0,010	-0,128	1,000									
Silte (%)	0,520	-0,085	-0,042	1,000								
e	-0,599	-0,762	-0,300	-0,072	1,000							
w_L (%)	0,534	-0,222	0,398	0,251	0,056	1,000						
IP (%)	0,404	-0,284	-0,205	0,572	-0,265	0,306	1,000					
G_s	0,563	0,628	0,510	-0,175	-0,891	0,334	-0,029	1,000				
c_n (kPa)	0,826	0,374	-0,753	0,541	-0,564	0,180	0,576	0,009	1,000			
ϕ_n (°)	0,353	0,374	0,185	-0,597	-0,977	0,406	0,008	0,764	0,109	1,000		
c_s (kPa)	0,601	0,213	-0,584	-0,115	-0,419	0,250	0,461	0,201	0,650	0,526	1,000	
ϕ_s (°)	-0,286	-0,027	0,754	-0,639	0,240	0,230	-0,437	0,460	-0,661	0,388	-0,196	1,000

Correlação forte $r^2 > 0,7$
 Correlação marcante $0,4 < r^2 < 0,7$
 Correlação fraca $0,2 < r^2 < 0,4$
 Correlação Insignificante $r^2 > 0,2$

c_n – coesão natural; ϕ_n – ângulo de atrito natural; c_s – coesão saturada; ϕ_s – ângulo de atrito saturado.

A Tabela 4.11 permitiu observar o grau de correlação entre cada um dos atributos disponíveis e assim determinar quais deveriam compor cada modelo.

Foram encontradas boas relações para os principais parâmetros, em especial para o ângulo de atrito natural e o índice de vazios (-0.98) e a coesão natural com a profundidade (0,83).

4.2.3.4- REGRESSÃO LINEAR

Adotou-se a mesma metodologia utilizada para os solos porosos lateríticos superficiais.

A Tabela 4.12 apresenta a base de dados utilizada na determinação da relação entre w_L e IP.

Tabela 4.12 - Base de dados utilizada na determinação da relação entre w_L e IP.

w_L (%)	IP (%)
42	10
38	8
46	11
46	14
48	11
49	15

A Tabela 4.13 apresenta os dados utilizados na determinação da relação entre índice de vazios e G_s .

Tabela 4.13 - Base de dados utilizada na determinação da relação entre índice de vazios e G_s .

G_s	e
2,71	2
2,81	1,3
2,76	1,4
2,77	1,3

A Tabela 4.14 apresenta os dados utilizados na determinação da relação entre ϕ_n (ângulo de atrito na condição de umidade natural) e índice de vazios.

Tabela 4.14 - Base de dados utilizada na determinação da relação entre ϕ_n (ângulo de atrito na condição de umidade natural) e índice de vazios.

e	ϕ_n (°)
2,0	21
1,3	30
1,3	28

A Tabela 4.15 apresenta os dados utilizados na determinação da relação entre c_n (coesão na condição de umidade natural) e profundidade.

Tabela 4.15 - Base de dados utilizada na determinação da relação entre c_n (coesão na condição de umidade natural) e profundidade.

Prof (m)	c_n (kPa)
6	21
9	27
9	48
12	41
3	0
10	34
12	60
3	24

A Tabela 4.16 apresenta os dados utilizados na determinação da relação entre N_{SPT} , profundidade, c_n , índice de vazios e ϕ_n .

Tabela 4.16 - Base de dados utilizada na determinação da relação entre N_{SPT} , profundidade, cn , índice de vazios e e ϕ_n .

N_{SPT}	Prof (m)	cn (kPa)	e	ϕ_n (°)
2	3	24	2,0	21
13	9	27	1,3	30
8	9	48	0,7	36
7	12	41	1,2	30
2	3	0	1,0	33
8	10	34	1,0	33
6	12	60	1,3	28

4.2.3.5- MODELOS

Neste item são apresentados os modelos referentes aos dados de ensaios de laboratório para solos silto-arenosos.

Relação Entre w_L e Índice de Plasticidade

Assim como para os solos porosos lateríticos superficiais a relação entre w_L e IP tem grande relevância e permite análises interessantes sobre as características das amostras.

A Equação 4.6 mostra a relação entre o índice de plasticidade e o limite de liquidez. O índice de plasticidade apresenta um valor residual positivo e cresce, a uma taxa extremamente baixa, conforme o limite de liquidez aumenta.

$$IP (\%) = 7,15 + 0,098 x WL \quad r^2=0,31 \quad (4.6)$$

A Figura 4.33 apresenta a relação entre IP previsto e medido. Observa-se uma correlação considerada marcante e uma tangente pequena, porém, bem delineada.

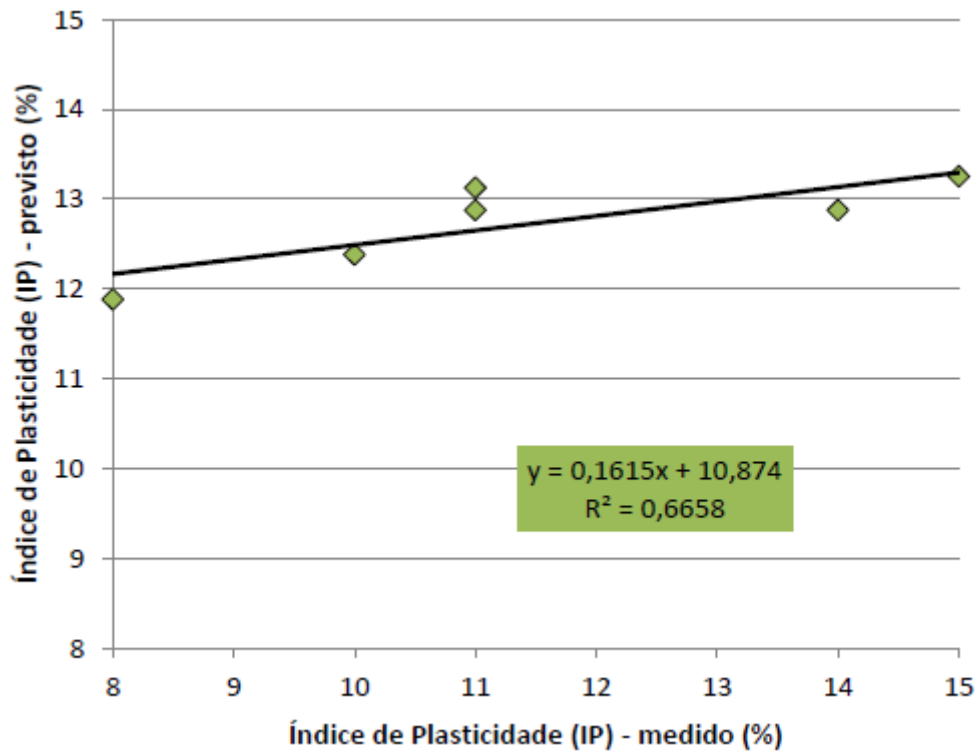


Figura 4.33 - Relação entre valores de índice de plasticidade medidos e previstos.

Aplicando os resultados obtidos para as amostras na Carta de Plasticidade de Casagrande pode-se classificá-la. A Figura 4.34 mostra o resultado.

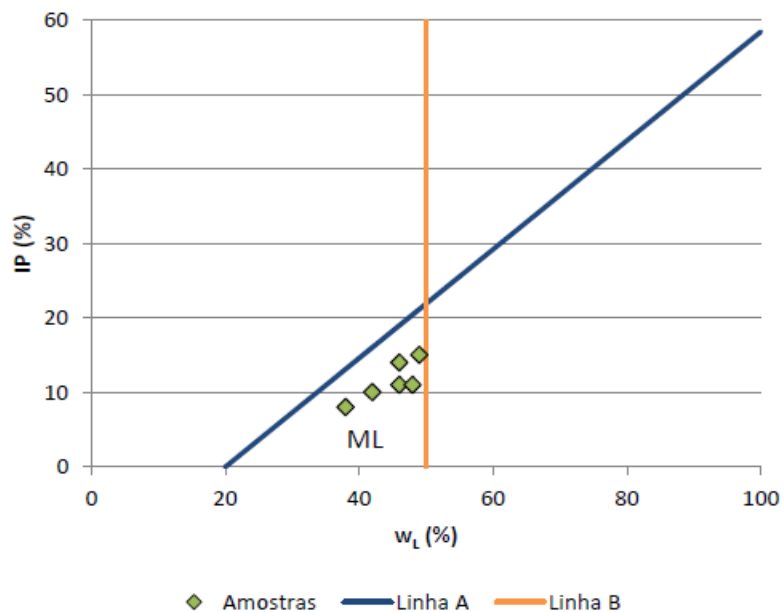


Figura 4.34 - Amostras inseridas na Carta de Plasticidade de Casagrande.

Pode-se perceber que, ao contrário dos solos porosos lateríticos, todas as amostras são classificadas como ML. Este fato confirma a experiência regional para este tipo de solo.

Relação entre Índice de Vazios e G_s

A tabela de correlações apontou uma boa relação entre os dois atributos, dessa maneira procurou-se relacioná-los.

A Equação 4.7 mostra que o índice de vazios inicia com um valor residual bastante elevado e reduz a taxas igualmente elevadas conforme ocorrem incrementos de G_s .

$$e = 21,64 - 7,261 x G_s \quad r^2=0,89 \quad (4.7)$$

A Figura 4.35 apresenta a relação entre valores de índice de vazios previstos e medidos. Observa-se uma correlação forte além de uma tangente muito próxima ao valor teórico ideal (1,0).

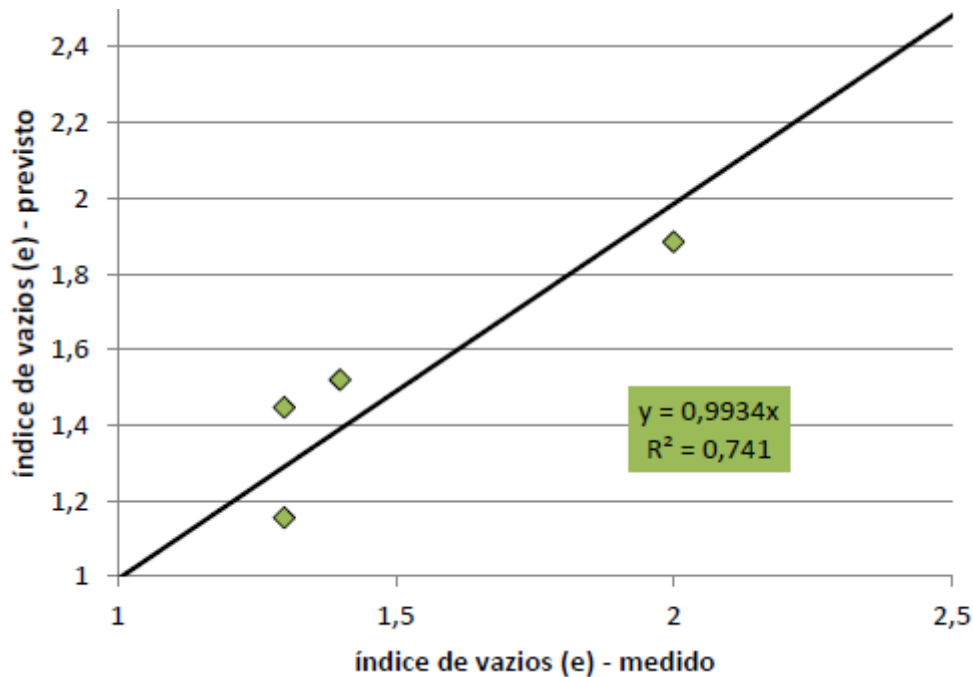


Figura 4.35 - Relação entre valores de índice de vazios previstos pela Equação 4.7 e medidos.

Relação entre Ângulo de Atrito Natural e Índice de Vazios

Foi observada uma boa correlação entre os valores de ângulo de atrito natural e o índice de vazios. Entretanto, deve-se fazer uma ressalva para o pequeno número de dados utilizados para esta determinação. A Equação 4.8 apresenta essa correlação.

Nota-se que o ângulo de atrito parte de um valor inicial e diminui conforme o índice de vazios aumenta. Fato que tem grande amparo teórico, uma vez que quanto menor o índice de vazios de um solo maior tende a ser o seu ângulo de atrito.

$$\phi_n (\text{°}) = 43,86 - 11,4 x e \quad (4.8)$$

A Figura 4.36 apresenta a relação entre os valores de ângulo de atrito natural previstos e medidos.

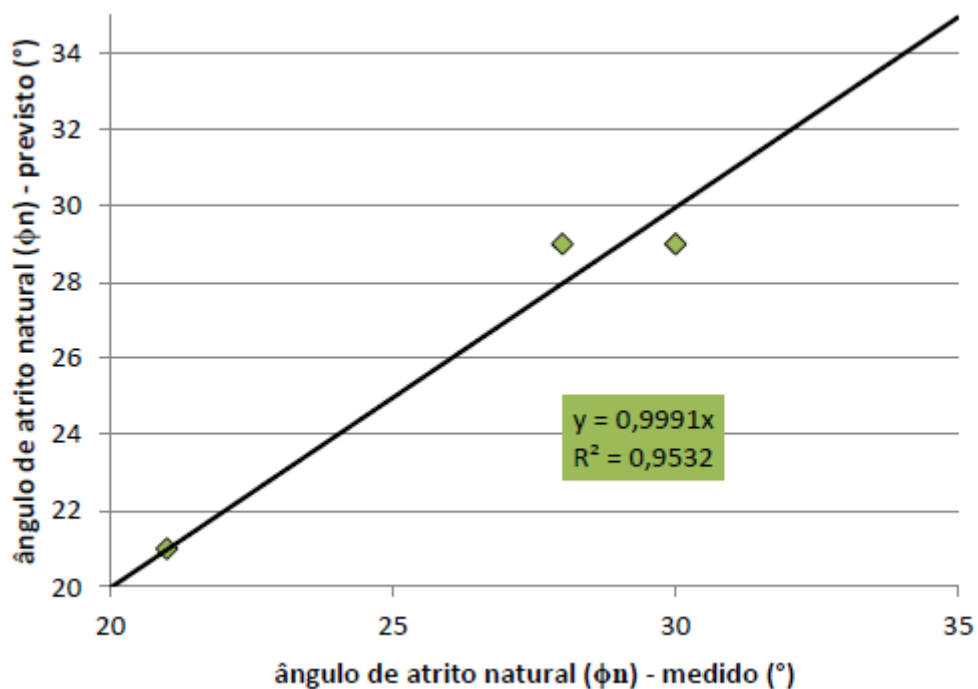


Figura 4.36 Relação entre valores de ângulo de atrito natural previstos pela Equação 4.8 e medidos.

Relação entre Coesão Natural e Profundidade

Em solos residuais a coesão natural apresenta uma forte relação com a profundidade, esta relação foi observada na região estudada.

A Equação 4.9 apresenta a relação entre a coesão natural e a profundidade.

$$cn (kPa) = 1,60 + 4,19 x Prof. \quad r^2=0,83 \quad (4.9)$$

Observa-se que a coesão parte de um valor inicial e aumenta conforme a profundidade também aumenta.

Tal observação apresenta muito significado físico em solos residuais, especialmente nos saprólitos, uma vez que o intemperismo atua do exterior para o interior dos mesmos, reduzindo a coesão entre as partículas gradualmente.

A Figura 4.37 apresenta A relação entre os valores previstos pela equação e os efetivamente medidos.

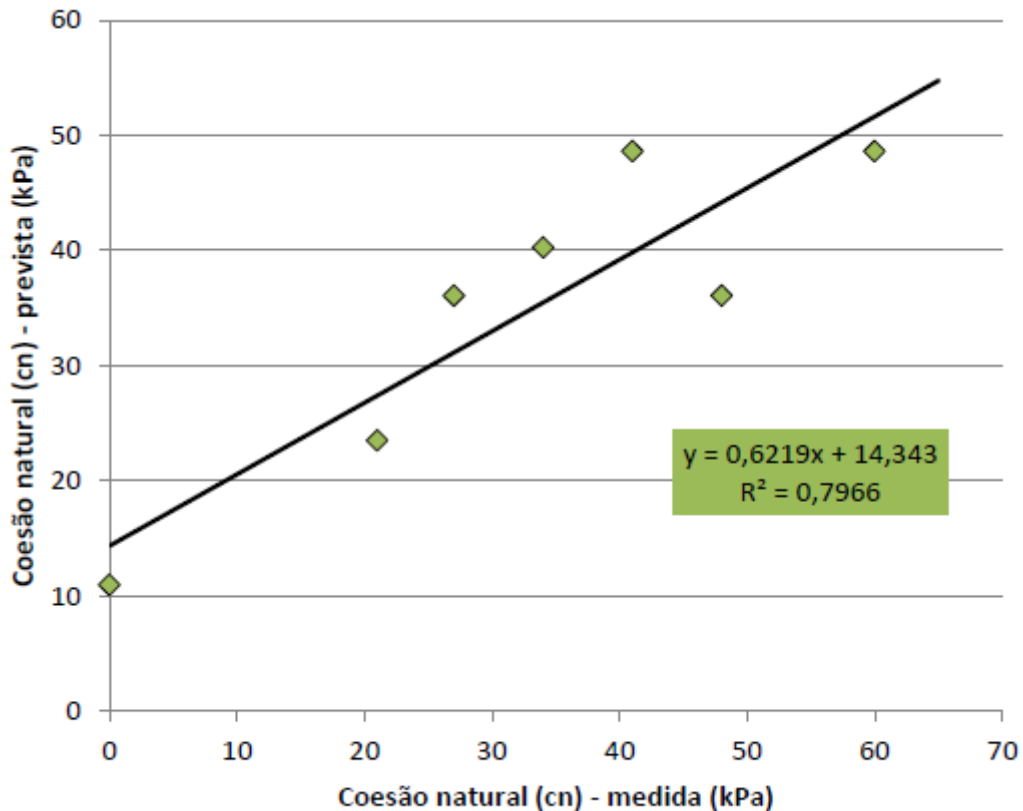


Figura 4.37 - Relação entre valores de coesão natural medidos e previstos em função da profundidade pela Equação 4.9.

Correlações Múltiplas

Assim como nos solos porosos lateríticos superficiais buscou-se uma relação entre os valores de N_{SPT} e os atributos de laboratório, de forma a auxiliar no entendimento da relação entre os mesmos.

A Equação 4.10 apresenta a relação obtida entre os valores de N_{SPT} e os vários parâmetros considerados.

$$N_{SPT} = -221,90 + 0,66 x Prof. + 0,05 x cn + 58,22 x e + 5,0 x \phi n \quad (4.10)$$

A Figura 4.38 apresenta a relação entre os valores previstos pela equação 4.10 e efetivamente medidos de N_{SPT} .

Observa-se uma boa correlação para os valores. Nota-se também um bom comportamento dos dados previstos com coeficiente de inclinação relativamente próximo a 1,0.

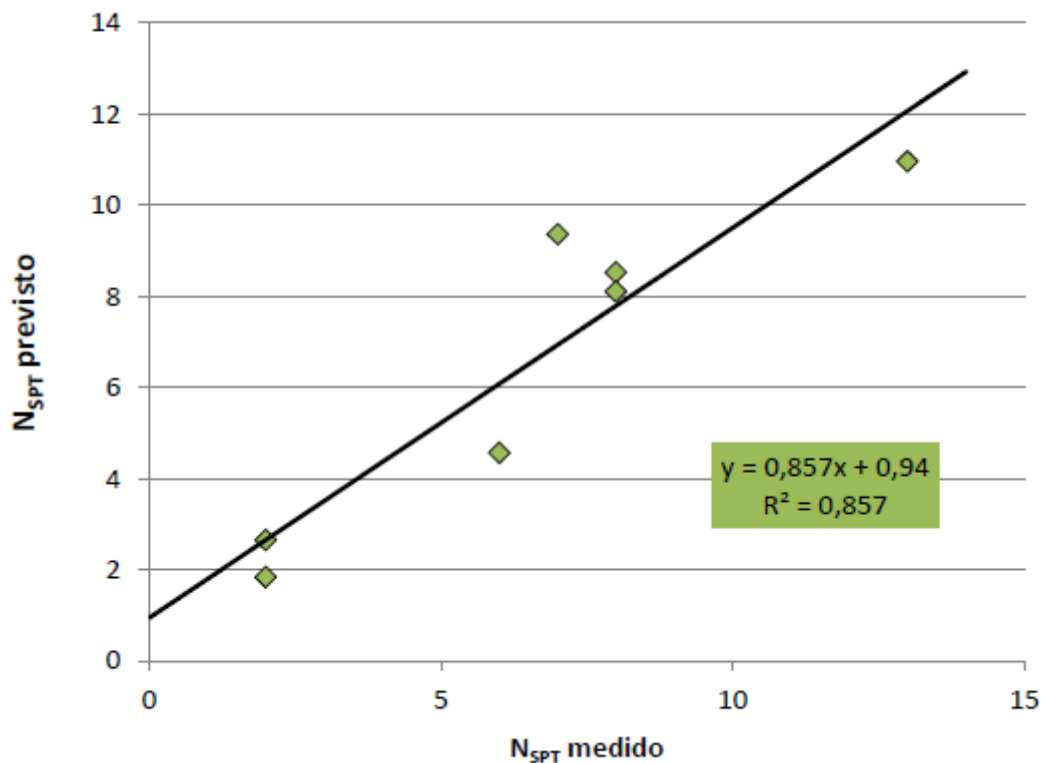


Figura 4.38 - Relação entre valores de N_{SPT} medidos e previstos pela Equação 4.10.

4.2.3.6- VALIDAÇÃO

A pequena quantidade de dados prejudicou a validação deste modelo, não foi possível encontrar boas relações entre os valores previstos e o grupo de dados da etapa de validação.

A Figura 4.39 apresenta a relação encontrada entre ângulo de atrito natural e N_{SPT} através dos modelos e os respectivos valores do banco de dados de validação.

Observa-se que o erro, apesar de grande, diminui consideravelmente para valores maiores de N_{SPT} .

Pode-se atribuir o comportamento ilógico à presença de um valor de ângulo de atrito muito elevado para um pequeno valor de N_{SPT} . A exclusão deste ponto apontaria uma variação mínima do ângulo de atrito com o incremento do N_{SPT} .

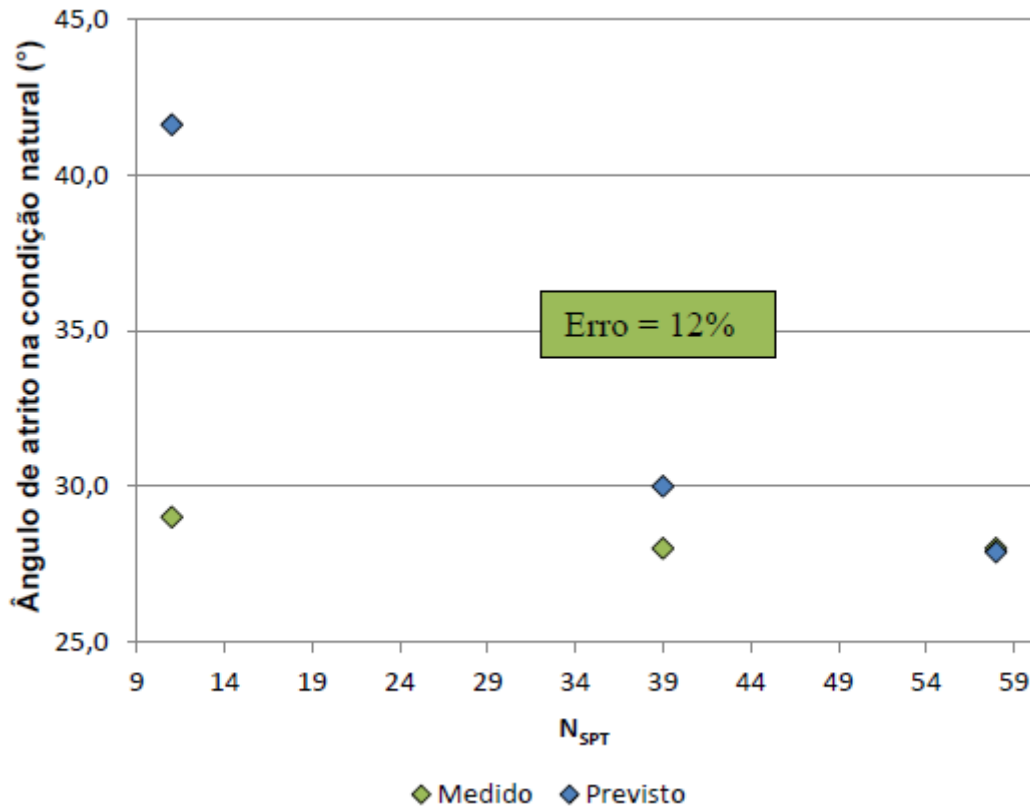


Figura 4.39 - Relação entre valores de ângulo de atrito natural e N_{SPT} medida e prevista.

4.3- DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS - CAMPO

Os dados oriundos de ensaios de prova de carga foram associados com sondagens do tipo SPT da própria obra. Esse conjunto de informações foi submetido a uma série de análises e tratamentos estatísticos descritos neste capítulo.

É importante ressaltar que por não haver sondagens exatamente nos pontos dos locais das estacas ensaiadas foram escolhidas sondagens consideradas representativas para cada estaca. Os critérios de escolha consideraram a profundidade da estaca, da sondagem e características do perfil na cota de assentamento da mesma.

Assim como para os dados de laboratório foram realizadas análises exploratórias de modo a identificar subpopulações e verificar o comportamento estatístico de cada uma das principais variáveis.

Os boletins de sondagens obtidos descrevem a quase totalidade dos perfis como constituídos por três camadas distintas: argila arenosa, silte amarelo, silte roxo. Essas camadas aparecem sempre nesta ordem com alterações sutis na sua descrição, quando apresentam presença de pedregulhos por exemplo.

A prática da engenharia de fundações da região sugere, do mesmo modo, a existência dessas três camadas bem como a diferença no comportamento mecânico das mesmas.

Desse modo dividiu-se o banco de dados de acordo com o tipo de solo descrito nas sondagens e procurou-se confirmar a existência desses subgrupos através das análises exploratórias.

Como apresentado nos itens subsequentes, a estatística descritiva juntamente com gráficos do tipo histograma, Q-Q e *Box plot*, confirmaram a existência das subpopulações inicialmente inferidas.

4.3.1- SOLOS POROSOS LATERÍTICOS SUPERFICIAIS

Esta camada de solo se apresenta nos metros iniciais do perfil. Normalmente é descrita com textura arenosa, devido à ocorrência de pequenas concreções, típicas de solos lateríticos. Sua espessura é bastante variável assim como o valor do N_{SPT} , que varia de 3 a 10 quando não apresenta presença de pedregulhos podendo chegar a 20 quando da ocorrência dos mesmos.

4.3.1.1- ANÁLISE EXPLORATÓRIA

Neste item são apresentadas as análises exploratórias para os principais atributos para as camadas descritas como argilosas nos boletins de sondagem.

N_{SPT}

As Figuras 4.40 e 4.41 apresentam o histograma para o N_{SPT} e o gráfico do tipo *Box plot* para o referido tipo de solo.

Os gráficos apresentados permitem observar que os valores de N_{SPT} não apresentam um comportamento normal bem definido. Outra observação importante é a concentração dos valores em torno da média (6,4) e o desvio padrão relativamente baixo para esta propriedade (6,3), mas com alguns pontos muito distantes.

A Figura 4.42 apresenta o gráfico Q-Q para o valor de N_{SPT} .

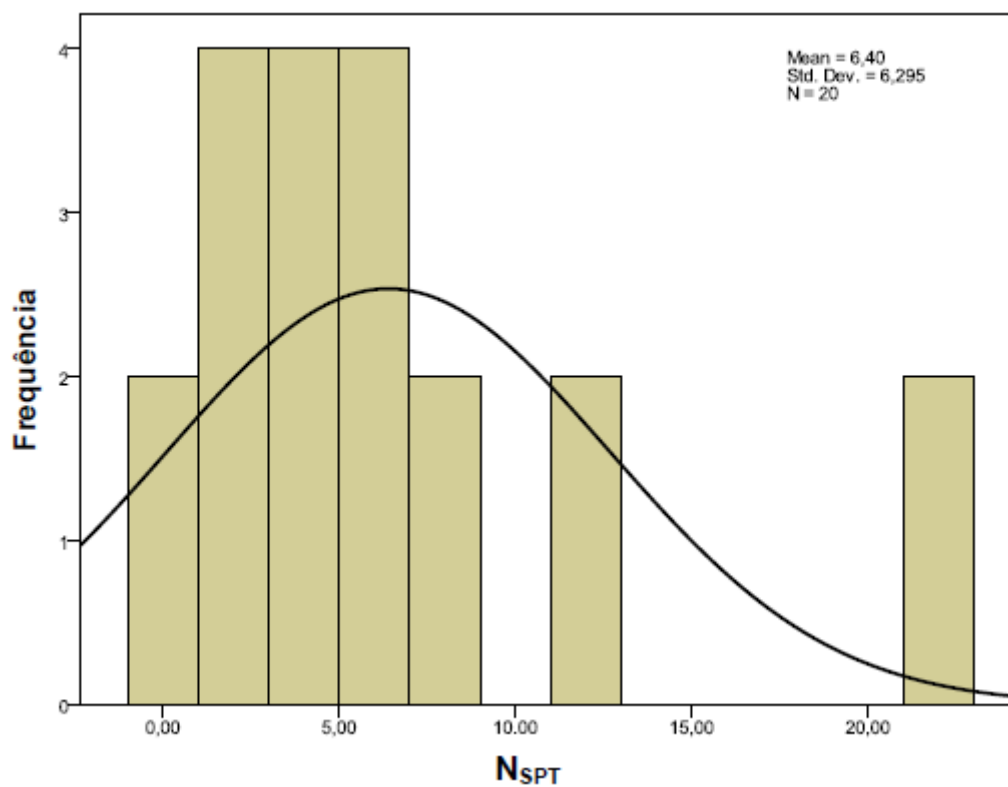


Figura 4.40 - Histograma para os valores de N_{SPT} .

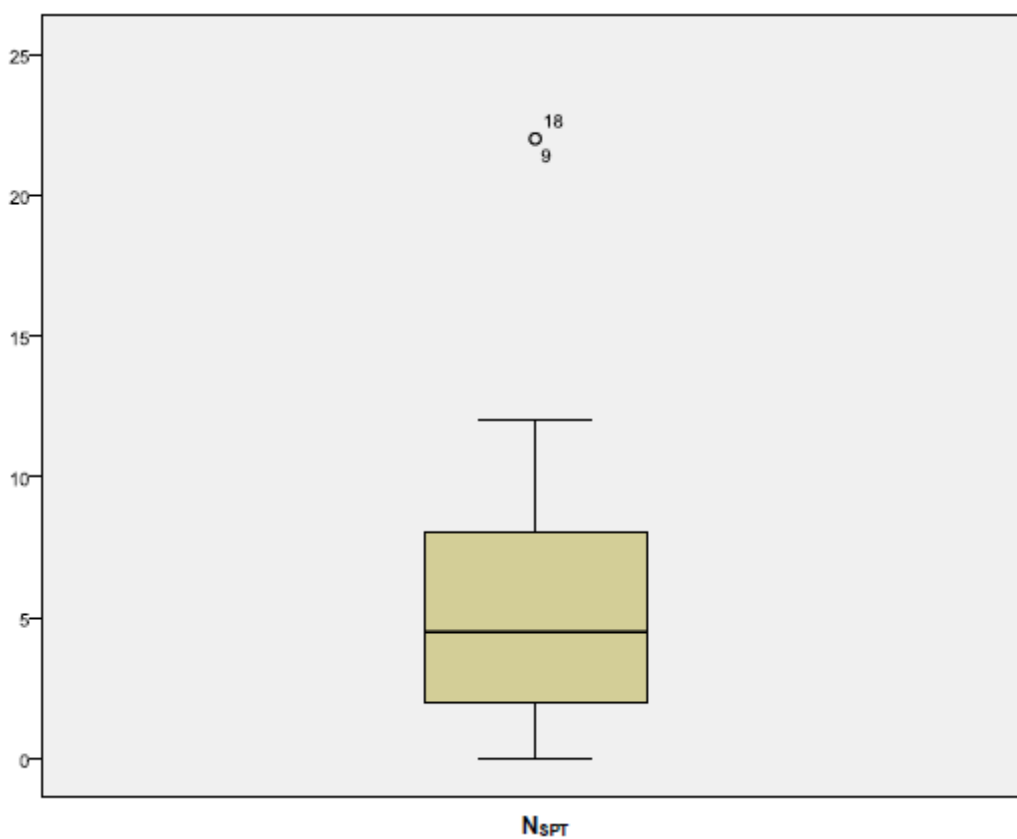


Figura 4.41 - *Box plot* para os valores de N_{SPT} .

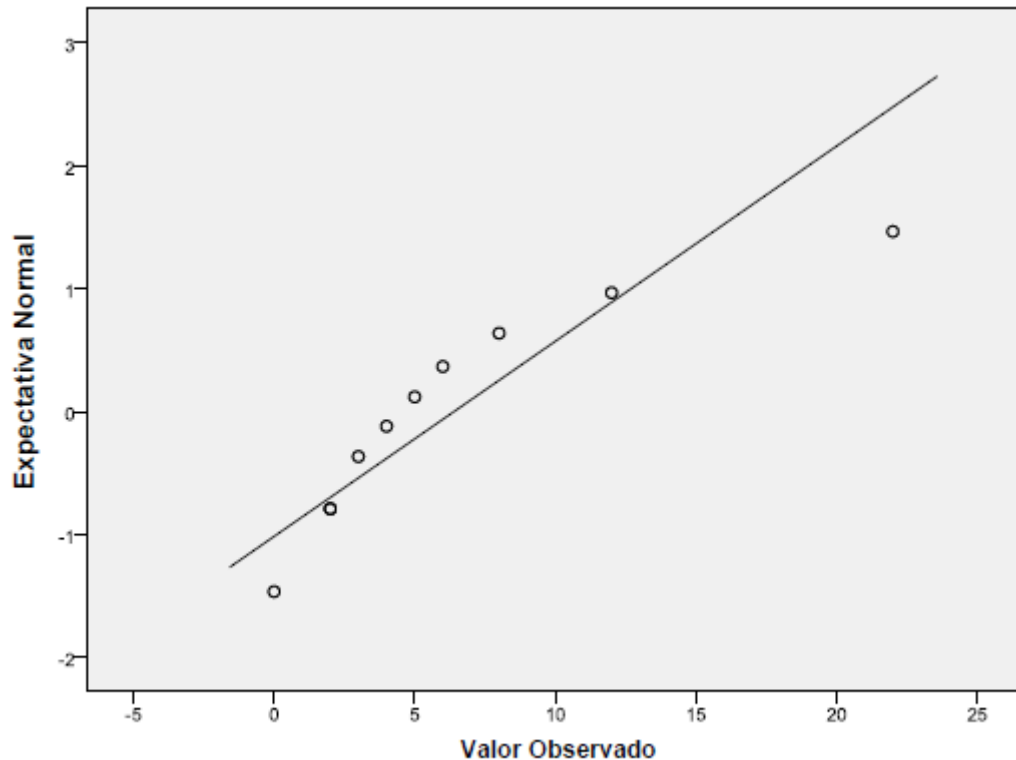


Figura 4.42 - Gráfico Q-Q para os valores de N_{SPT} .

O gráfico apresentado mostra uma boa normalidade da variável em torno dos valores esperados, entretanto com alguns pontos muito distantes. Como já indicado no histograma e também no *Box plot*.

Atrito unitário Lateral

As Figuras 4.43 e 4.44 apresentam o histograma e o gráfico *Box plot* para o atrito unitário lateral.

Os gráficos apresentados permitem inferir que não há uma tendência muito clara de distribuição normal para esta variável. Os valores se concentram próximos à média (8,2) e desvio padrão médio (8,2). Assim como no caso dos valores de N_{SPT} , ocorrem valores muito distantes da média.

A Figura 4.45 apresenta o gráfico Q-Q para o coeficiente de atrito lateral. Este gráfico permite observar a mesma tendência do gráfico histograma e *Box plot*, ou seja, uma boa distribuição em relação à média com alguns valores isolados.

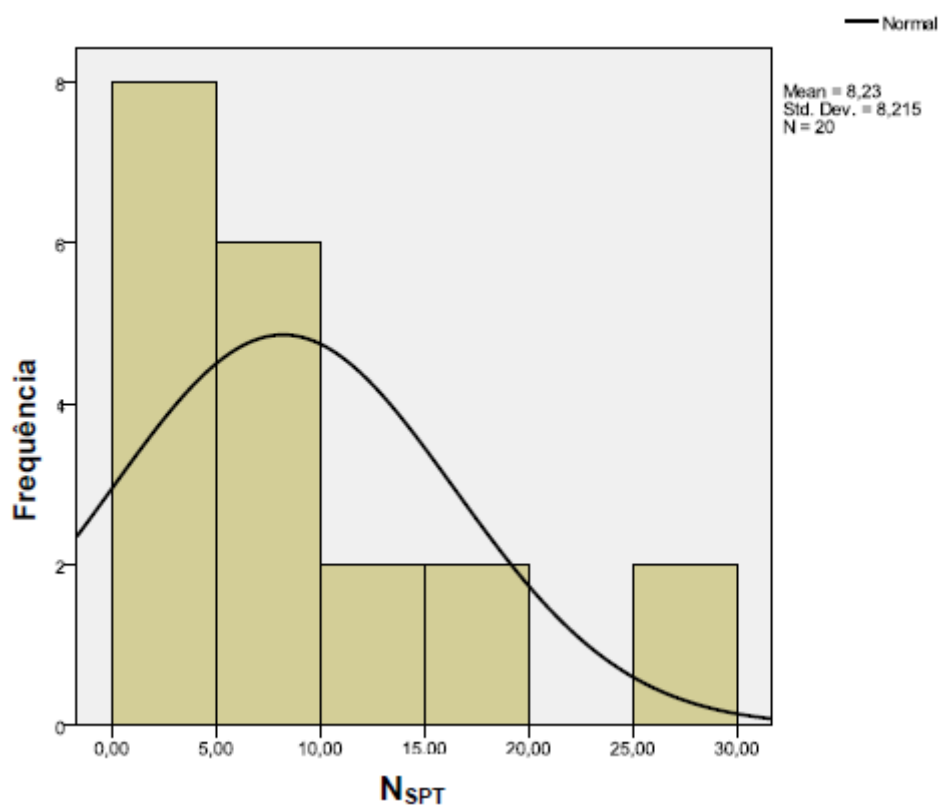


Figura 4.43 - Histograma para os valores de atrito unitário lateral.

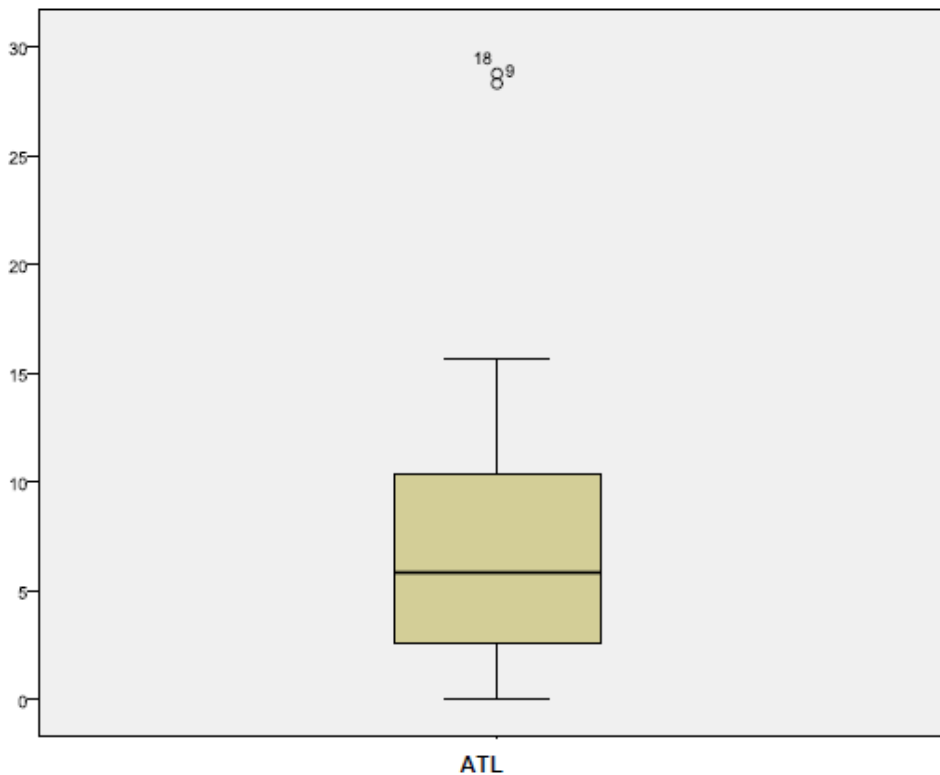


Figura 4.44 - Box plot para os valores de atrito unitário lateral.

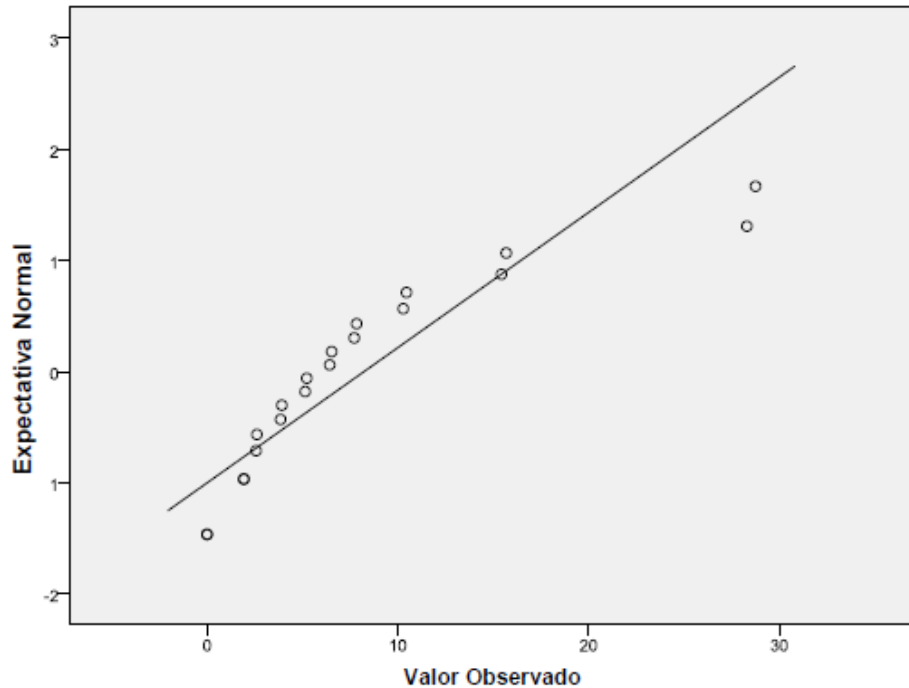


Figura 4.45 - Gráfico Q-Q para os valores de atrito unitário lateral – Solos porosos lateríticos superficiais.

Tensão de ruptura do Solo

As Figuras 4.46, 4.47 e 4.48 apresentam o histograma e os gráficos *Box plot* e Q-Q para a Tensão de ruptura do solo.

Assim como em relação ao N_{SPT} e ao coeficiente de atrito lateral a curva de distribuição é assimétrica, deslocada na direção dos valores inferiores. Fato que se deve à existência de alguns valores fora dos limites do desvio padrão.

De maneira geral os produtos gerados na análise exploratória apontam para um comportamento bem definido do solo para todas as variáveis apresentadas. A assimetria da curva de distribuição pode ser atribuída à ocorrência isolada de camadas pedregulhosas, considerando-se assim este um subgrupo homogêneo.

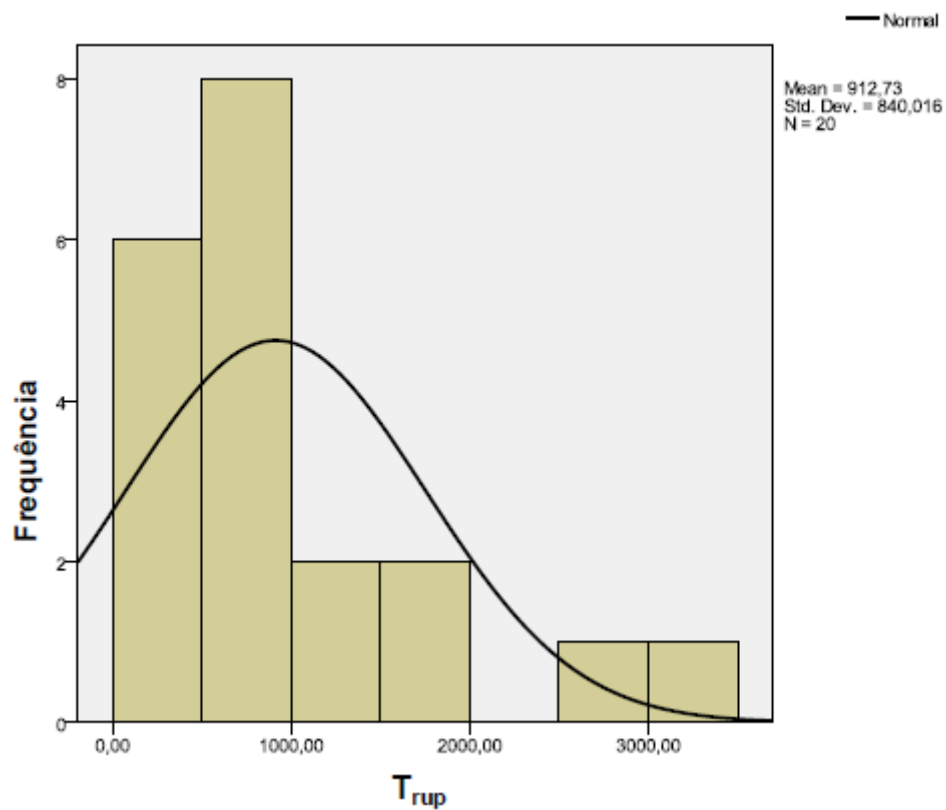


Figura 4.46 - Histograma para os valores de fator de Tensão de ruptura do solo.

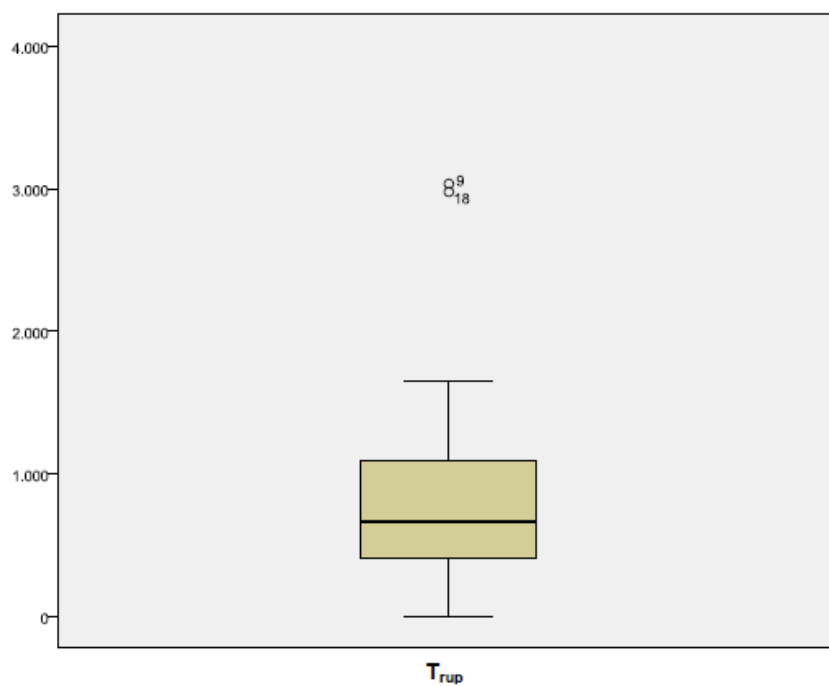


Figura 4.47 - Box plot para os valores de Tensão de ruptura do solo.

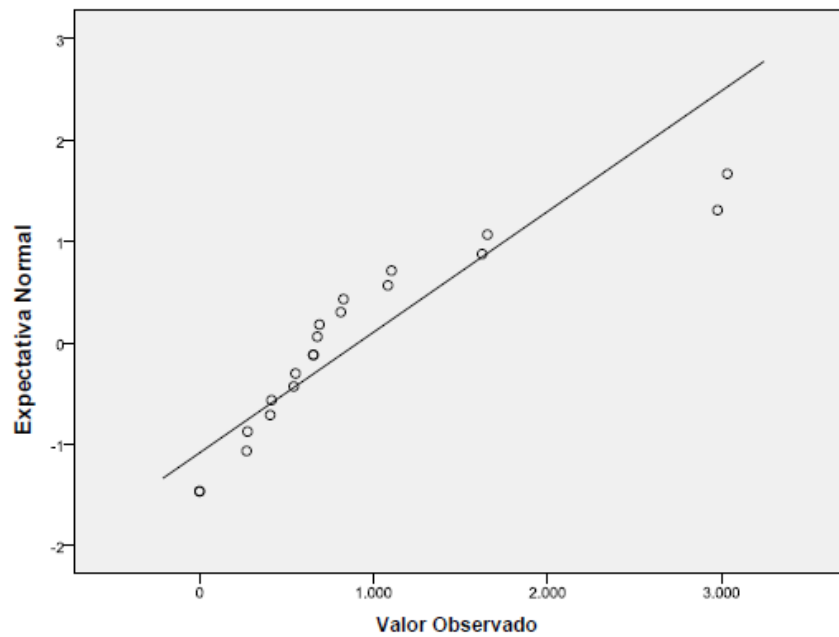


Figura 4.48 - Gráfico Q-Q para os valores de Tensão de ruptura do solo.

4.3.1.2- REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

A partir da definição e divisão dos grupos de amostras a serem trabalhados submetem-se os mesmos a processos de regressão linear, resultando em equações relacionando os parâmetros de resistência, atrito unitário lateral e tensão de ruptura com sondagens do tipo SPT.

Na determinação do modelo de previsão dos atributos foram utilizados os dados apresentados na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 - Excerto da base de dados para elaboração dos modelos.

Profundidade (m)	N _{SPT}	Tensão de ruptura (kPa)	Atrito unitário lateral (kPa)
1	0	0	0
2	3	406	3
3	2	270	2
4	4	541	5
5	6	812	7
6	8	1083	10
7	5	676	6
8	12	1624	15
9	22	2978	28

4.3.1.3- MODELOS

Neste item são apresentados os modelos elaborados a partir dos ensaios de campo para o solo descrito nas sondagens como argilosos.

Tensão de Ruptura

A Equação 4.11 apresenta a relação obtida para a estimativa dos valores de Tensão de ruptura.

$$Trup(kPa) = 71,73 + 24,59 \times Prof. + 139,72 \times N_{SPT} \quad (4.11)$$

Para a estimativa das tensões de ruptura foram considerados apenas os valores de profundidade e N_{SPT} .

A Figura 4.49 apresenta as relações entre tensões de ruptura previstas pelo modelo e as efetivamente medidas.

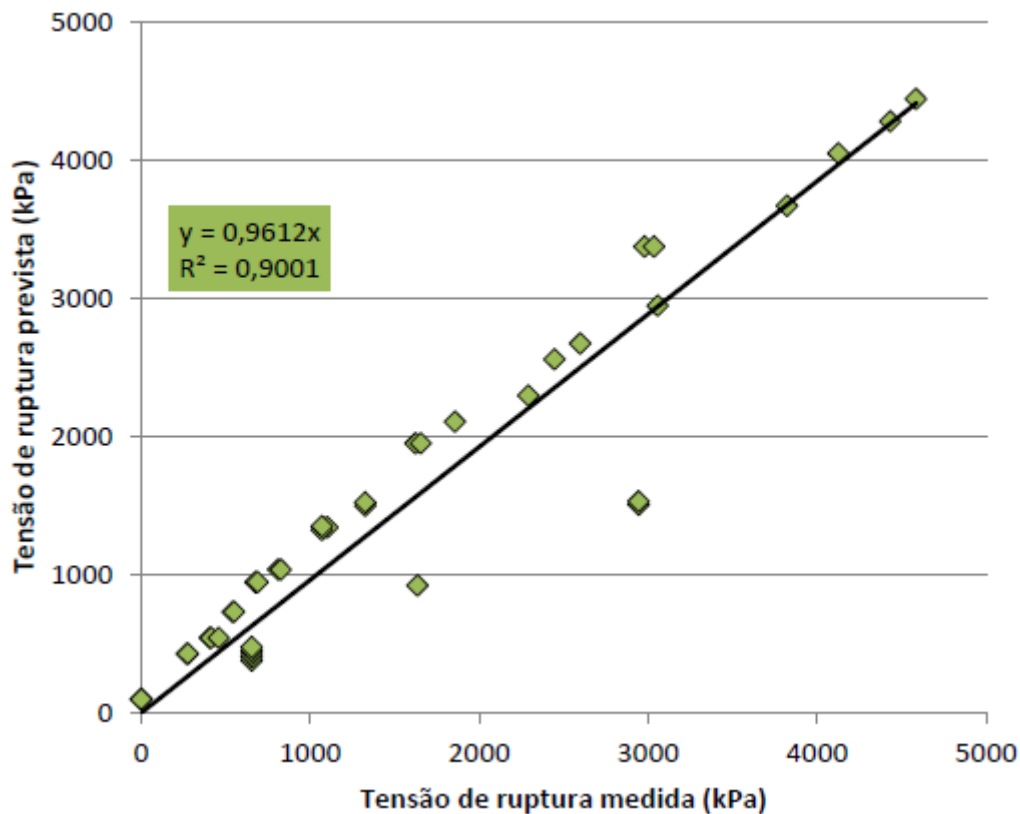


Figura 4.49 - Relação entre valores de Tensão de ruptura medidos e previstos pela Equação 4.11.

Atrito Unitário Lateral

Equação 4.12 apresenta a relação entre o atrito unitário lateral, a profundidade e o N_{SPT} .

$$ATL(kPa) = -0,66 - 0,20 \times Prof. + 1,09 \times N_{SPT} \quad (4.12)$$

Observa-se que os fatores de atrito lateral partem de um valor residual e diminuem com a profundidade e aumentam com o N_{SPT} .

Aparentemente ocorre uma inconsistência física quando, de acordo com o modelo os fatores de atrito lateral diminuem com a profundidade. Entretanto deve-se ressaltar que se trata de uma equação bidimensional e que as variáveis independentes também são correlacionáveis entre si, tornando a análise mais complexa.

Pode-se também verificar que o atrito lateral cresce à taxa de 1,09 com o N_{SPT} e decai à taxa de 0,20 com a profundidade. Neste caso, pode-se inferir que a profundidade atua como um regulador do incremento do atrito lateral em função do N_{SPT} , o que é matematicamente possível, porém fisicamente contestável.

A Figura 4.50 apresenta a relação entre os valores de atrito unitário lateral previstos pelo modelo e os efetivamente medidos.

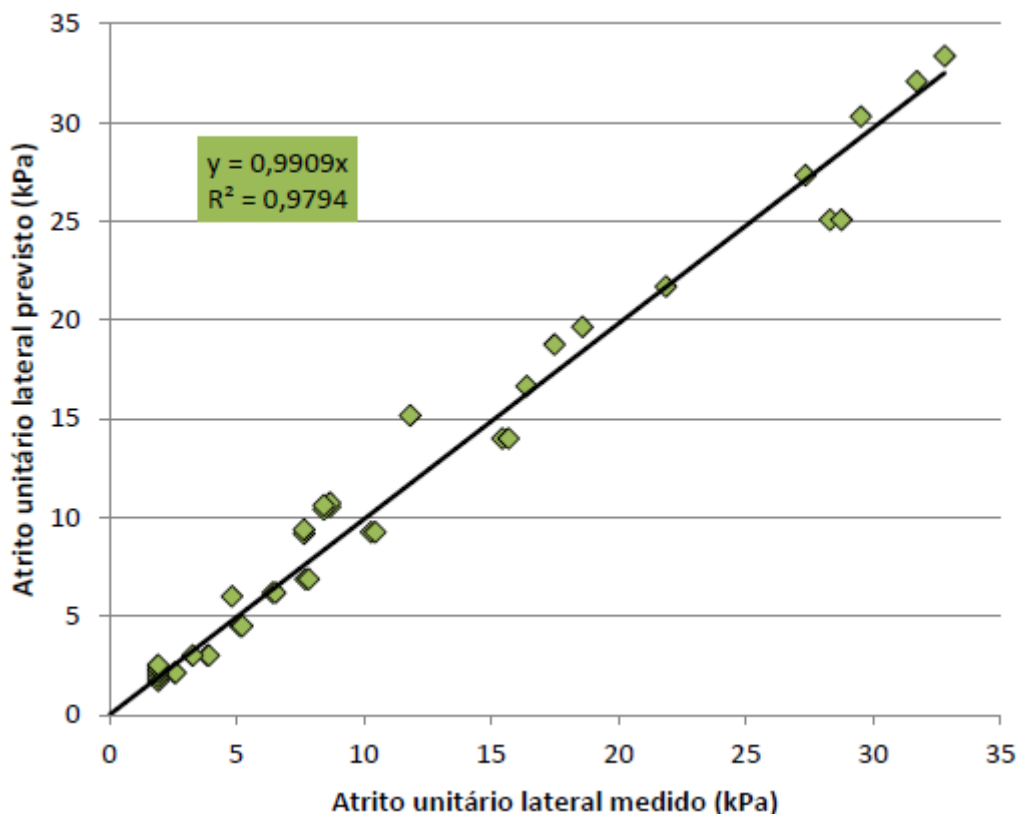


Figura 4.50 - Relação entre valores de atrito unitário lateral medidos e previstos pela Equação 4.12.

4.3.2- SILTE AMARELO

Este subgrupo é encontrado entre camadas de solos porosos lateríticos superficiais e siltes roxos. Ele apresenta valores de N_{SPT} muito variáveis e por isso pode ser considerada uma camada de transição quando se considera apenas o aspecto da resistência mecânica *in situ*.

4.3.2.1- ANÁLISE EXPLORATÓRIA

Neste item são apresentadas as análises exploratórias para os principais atributos para as camadas descritas como silte amarelo nos boletins de sondagem.

N_{SPT}

As Figuras 4.51, 4.52 e 4.53 apresentam respectivamente os gráficos de histograma, *Box plot* e Q-Q para os valores de N_{SPT} obtidos.

O histograma desta variável não indica uma tendência de distribuição normal, mas sim uma distribuição quase uniforme para os valores mais baixos e uma redução da frequência de ocorrência a medida que eles se elevam.

O gráfico *Box plot* apresenta uma tendência de concentração dos valores em torno da média (17,8), um desvio padrão de 7,7 e uma tendência de distribuição na direção dos valores mais elevados.

O gráfico Q-Q mostra uma boa aderência entre os valores e a expectativa de frequência, reforçando os indicativos de um comportamento adequado para um grupo amostral.

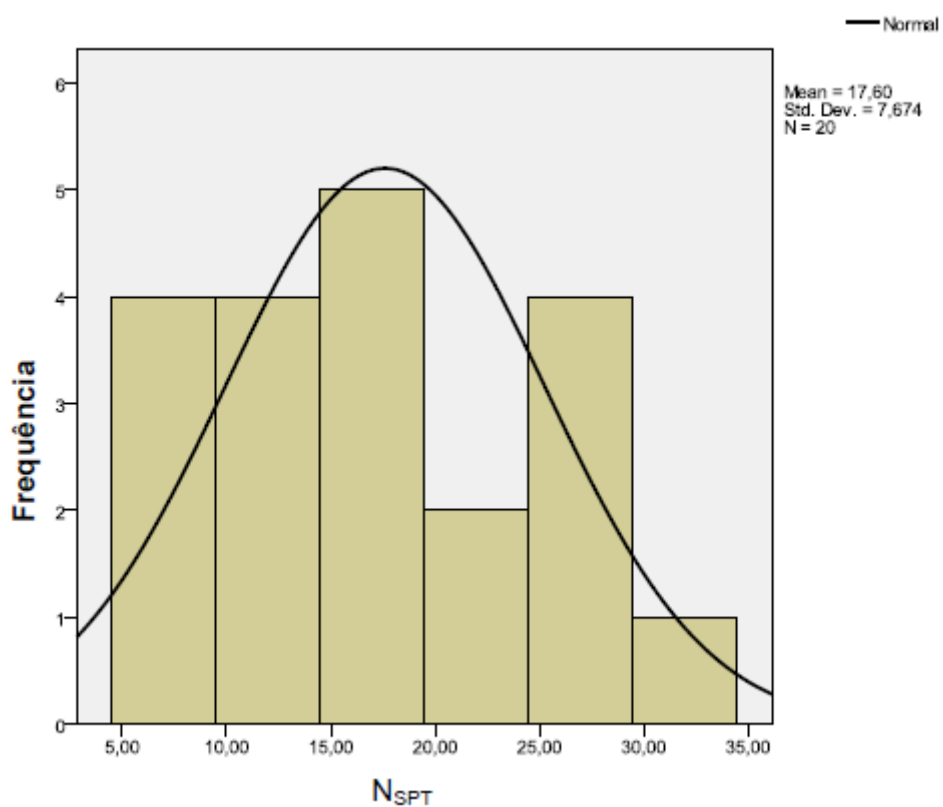


Figura 4.51 - Histograma para os valores de fator de N_{SPT} – Silte amarelo.

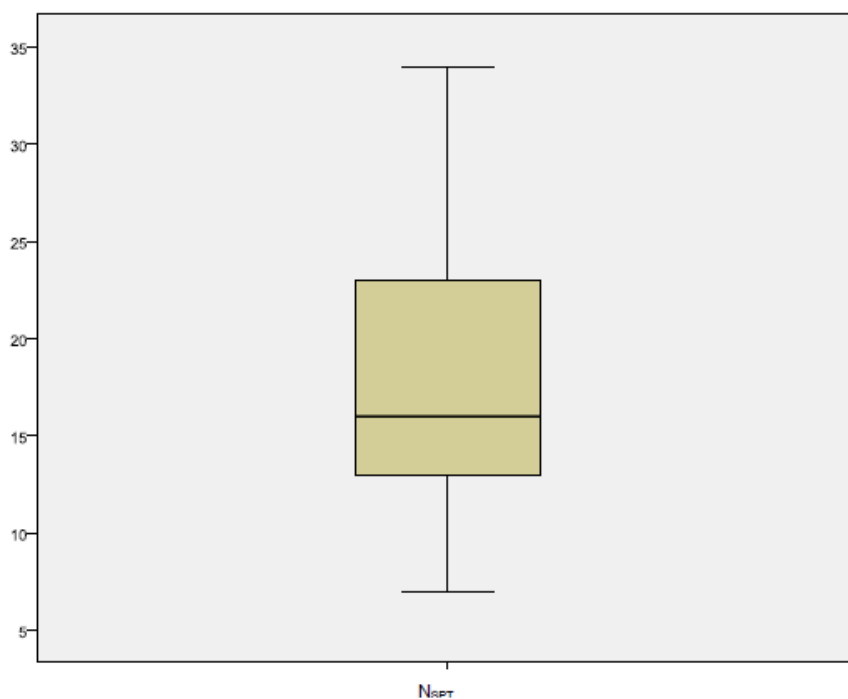


Figura 4.52 - *Box plot* para os valores de N_{SPT} – Silte amarelo.

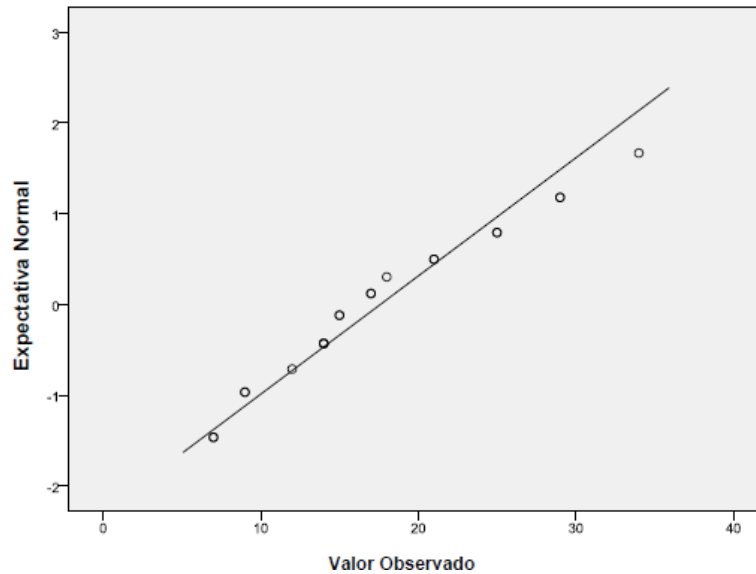


Figura 4.53 - Gráfico Q-Q para os valores de N_{SPT} – Silte amarelo.

Atrito Unitário Lateral

As Figuras 4.54, 4.55 e 4.56 apresentam respectivamente os gráficos de histograma, *Box plot* e Q-Q para os valores de atrito unitário lateral obtidos.

O histograma desta variável indica uma leve tendência de distribuição normal, com a presença de dois picos de frequência próximos à média e a atenuação das frequências para os valores mais distantes da média.

O gráfico *Box plot* apresenta uma tendência de concentração dos valores em torno da média (17,1 kPa), um desvio padrão de 8,8 e uma boa distribuição dos valores.

O gráfico Q-Q mostra uma boa aderência entre os valores e a expectativa de frequência, o que reforça os indicativos de um comportamento adequado para um grupo amostral.

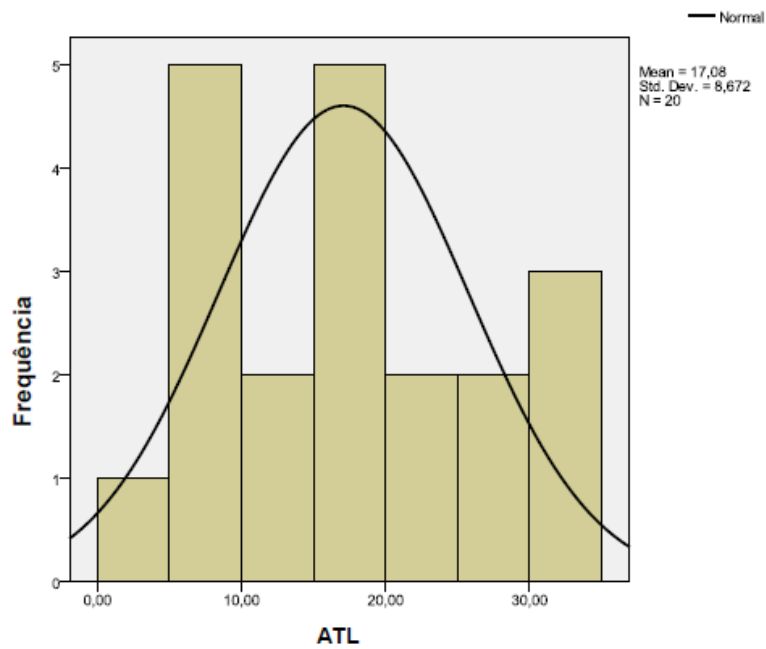


Figura 4.54 - Histograma para os valores de atrito unitário lateral – Silte amarelo.

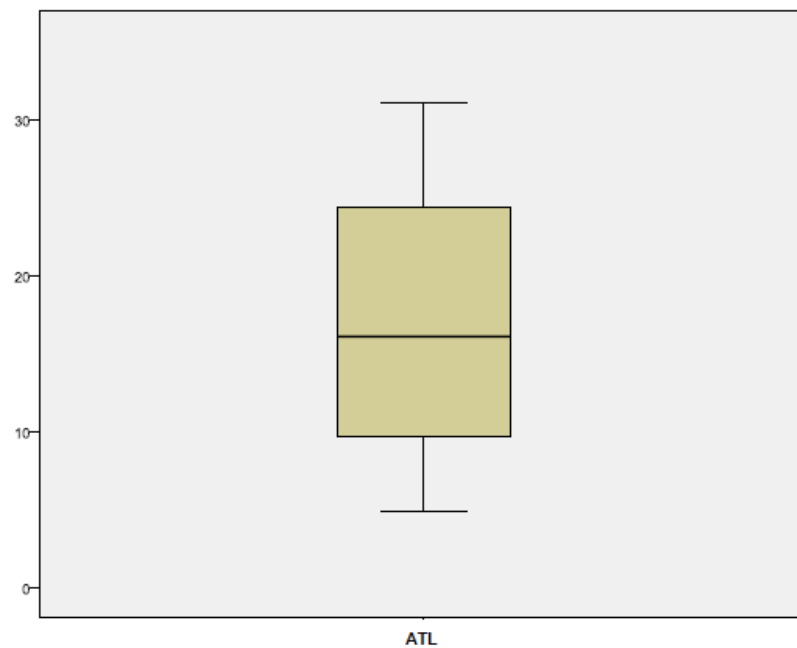


Figura 4.55 - Box plot para os valores de atrito unitário lateral – Silte amarelo.

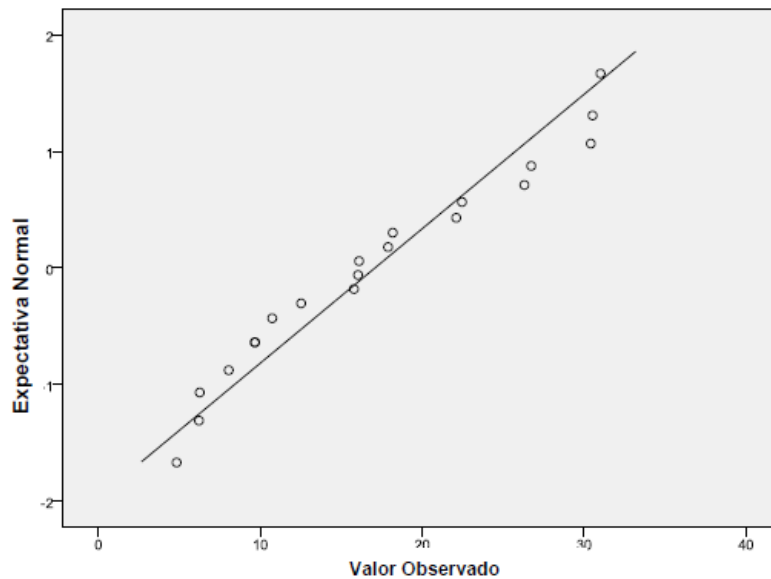


Figura 4.56 - Gráfico Q-Q para os valores de atrito unitário lateral – Silte amarelo.

Tensão de ruptura do Solo

As Figuras 4.57, 4.58 e 4.59 apresentam respectivamente os gráficos de histograma, *Box plot* e Q-Q para os valores de Tensão de ruptura obtidos.

O histograma desta variável indica uma forte tendência de distribuição normal, com concentração dos valores em torno da média e a suavização gradual conforme se distanciam da mesma.

O gráfico *Box plot* confirma a concentração dos valores em torno da média (1798 kPa), com um desvio padrão de 798 kPa e indica uma leve tendência de distribuição dos valores na direção dos mais elevados.

O gráfico Q-Q mostra uma boa aderência entre os valores e a expectativa de frequência, com exceção de um único ponto destoante. De maneira geral considerou-se o comportamento observado como esperado para um grupo amostral homogêneo.

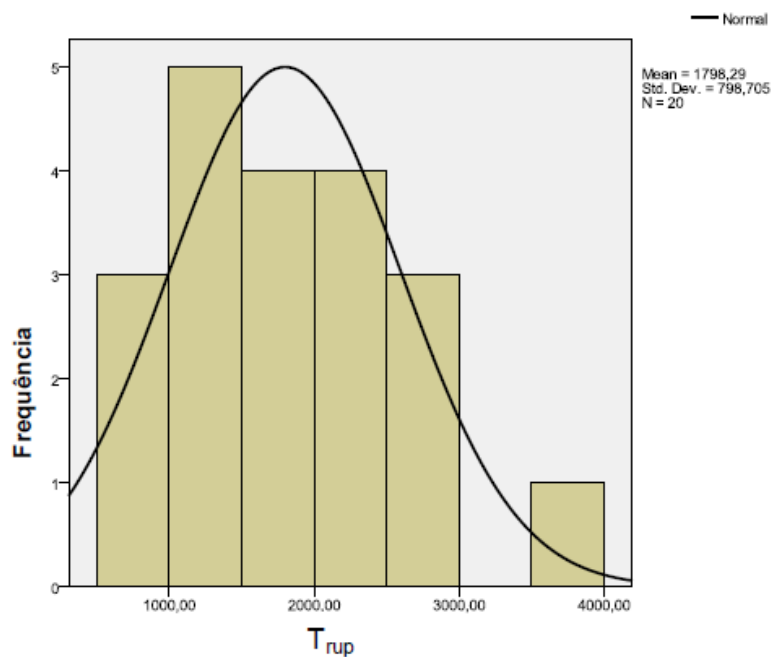


Figura 4.57 - Histograma para os valores de Tensão de ruptura – Silte amarelo.

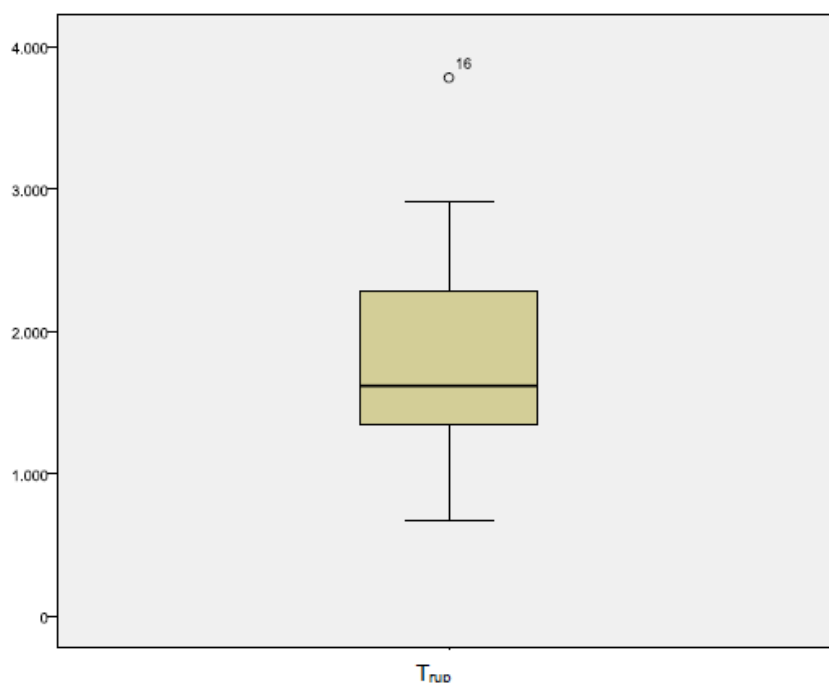


Figura 4.58 - Box plot para os valores de Tensão de ruptura – Silte amarelo.

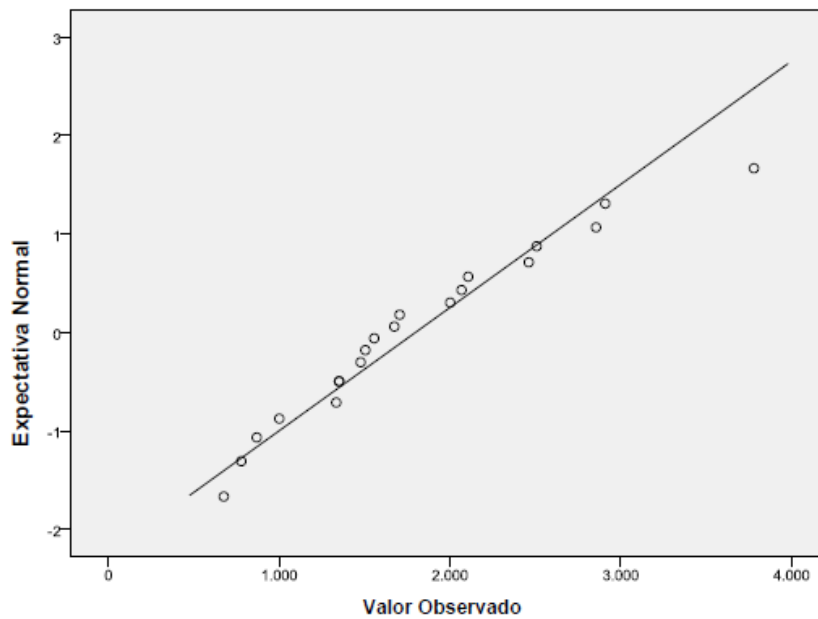


Figura 4.59 - Gráfico Q-Q para os valores de Tensão de ruptura – Silte amarelo.

4.3.2.2- REGRESSÃO LINEAR

Para a determinação do modelo de previsão dos atributos teste tipo de solo utilizou-se os dados apresentados na Tabela 4.18.

Tabela 4.18 - Excerto da base de dados para elaboração dos modelos – silte amarelo.

Profundidade (m)	N _{SPT}	Tensão de ruptura (kPa)	Atrito unitário lateral (kPa)
10	15	1476	15
11	17	1673	17
12	21	2067	22
13	29	2855	30
14	25	2461	26
10	15	1504	16
11	17	1705	18
12	21	2106	22

4.3.2.3- MODELOS

Neste item são apresentados os modelos obtidos para as camadas de silte amarelo a partir dos ensaios de campo.

Tensão de Ruptura

A Equação 4.13 apresenta a relação obtida para a estimação dos valores de Tensão de ruptura.

$$Trup(kPa) = -183,85 + 22,49 \times Prof. + 97,61 \times N_{SPT} \quad (4.13)$$

A Figura 4.60 apresenta as relações entre tensões de ruptura previstas pelo modelo e as efetivamente medidas.

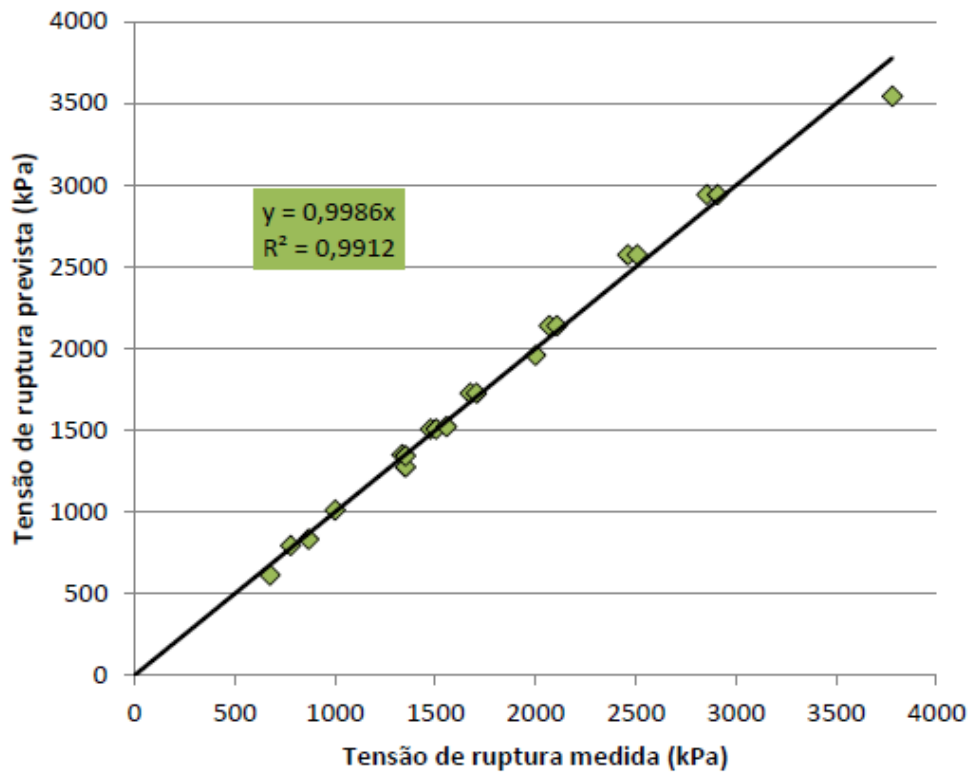


Figura 4.60 - Relação entre valores de Tensão de ruptura medidos e previstos pela Equação 4.13.

Atrito unitário Lateral

A Equação 4.14 apresenta a relação entre o atrito unitário lateral, a profundidade e o N_{SPT} .

$$ATL (kPa) = -2,93 - 0,09 \times Prof. + 1,08 \times N_{SPT} \quad (4.14)$$

Observa-se que os fatores de atrito lateral partem de um valor residual e diminuem com a profundidade e aumentam com o N_{SPT} .

Aparentemente ocorre uma inconsistência física quando, de acordo com o modelo os fatores de atrito lateral diminuem com a profundidade. Entretanto deve-se ressaltar que se trata de uma equação bidimensional e que as variáveis independentes também são correlacionáveis entre si, tornando a análise mais complexa.

A Figura 4.61 apresenta a relação entre os valores de atrito unitário lateral previstos através do modelo e efetivamente medidos.

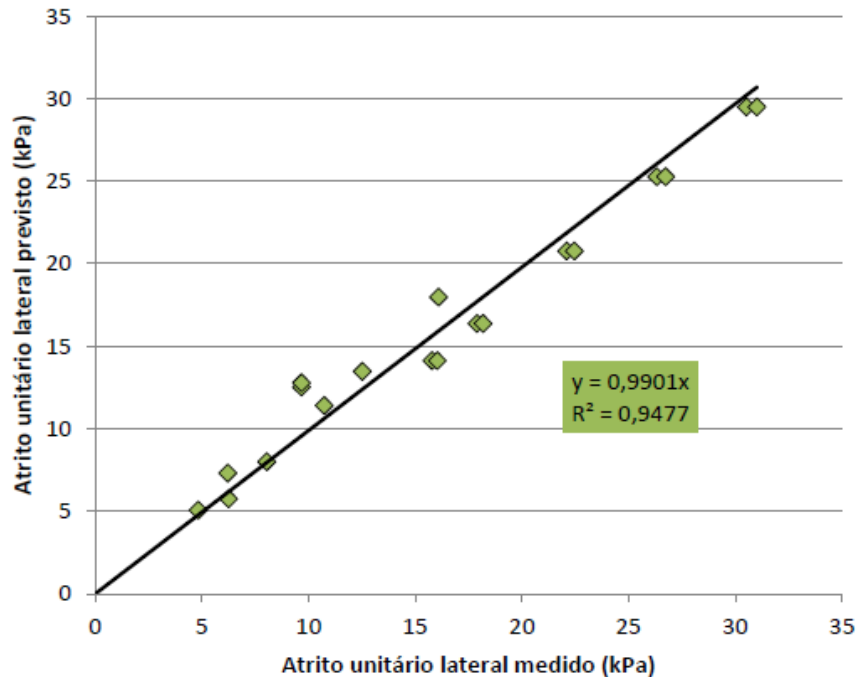


Figura 4.61 - Relação entre valores de atrito unitário lateral medidos e previstos pela Equação 4.14.

4.3.3- SILTE ROXO

Esta subpopulação é encontrada nas maiores profundidades dos perfis de sondagem. Ela apresenta valores de N_{SPT} bastante uniformes e elevados, razões pelas quais é desejado para o assentamento da ponta das estacas.

4.3.3.1- ANÁLISE EXPLORATÓRIA

Neste item são apresentadas as análises exploratórias para os principais atributos para as camadas descritas como silte roxo nos boletins de sondagem.

N_{SPT}

As Figuras 4.62, 4.63 e 4.64 apresentam respectivamente os gráficos de histograma, *Box plot* e Q-Q para os valores de N_{SPT} obtidos.

O histograma desta variável indica uma forte tendência de distribuição normal, com grande concentração dos valores em torno da média e a suavização intensa, porém gradual, conforme se distanciam da mesma.

O gráfico *Box plot* confirma a concentração dos valores em torno da média (30,8), com um desvio padrão de 8,1 e indica grande simetria em sua distribuição.

O gráfico Q-Q mostra uma boa aderência entre os valores e a expectativa de frequência, confirmando as observações dos demais gráficos.

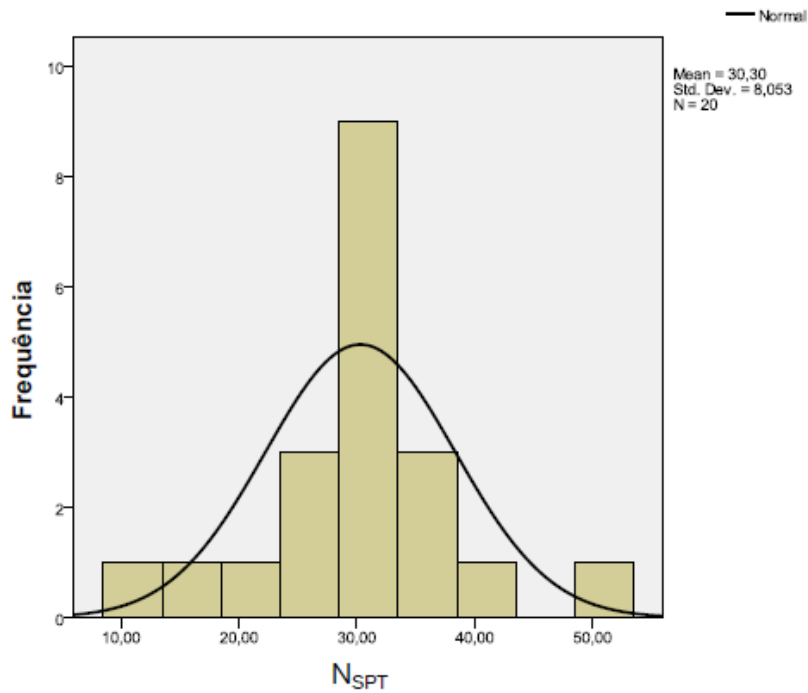


Figura 4.62 - Histograma para os valores de N_{SPT} – Silte roxo.

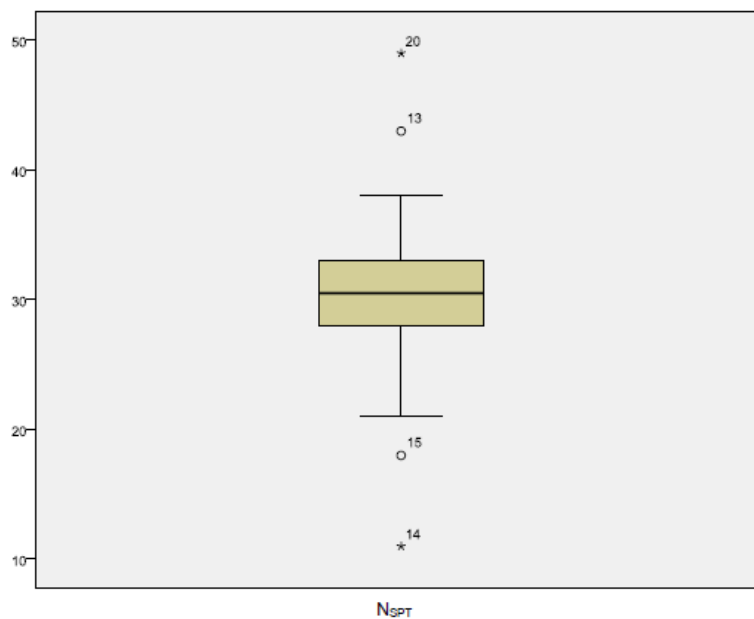


Figura 4.63 - *Box plot* para os valores de N_{SPT} – Silte roxo.

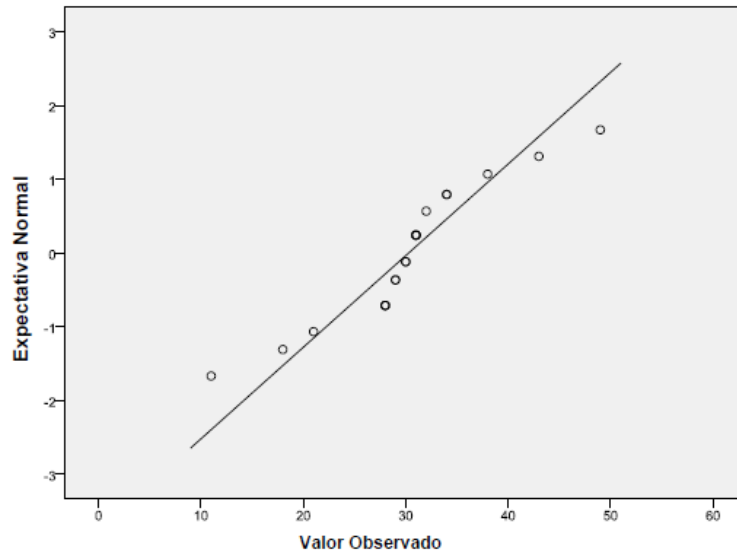


Figura 4.64 - Gráfico Q-Q para os valores de N_{SPT} – Silte Roxo.

Atrito Lateral

As Figuras 4.65, 4.66 e 4.67 apresentam respectivamente os gráficos de histograma, *Box plot* e Q-Q para os valores de coeficiente de atrito lateral obtidos.

O histograma desta variável indica uma tendência de distribuição normal levemente assimétrica, com grande concentração dos valores em torno da média e a suavização intensa, porém gradual, conforme se distanciam da mesma.

O gráfico *Box plot* confirma a concentração dos valores em torno da média (44,6 kPa), com um desvio padrão de 14,3 e indica assimetria na direção dos valores inferiores à média

O gráfico Q-Q mostra uma boa aderência entre os valores e a expectativa de frequência, sem apresentar nenhum ponto destoante do grupo.

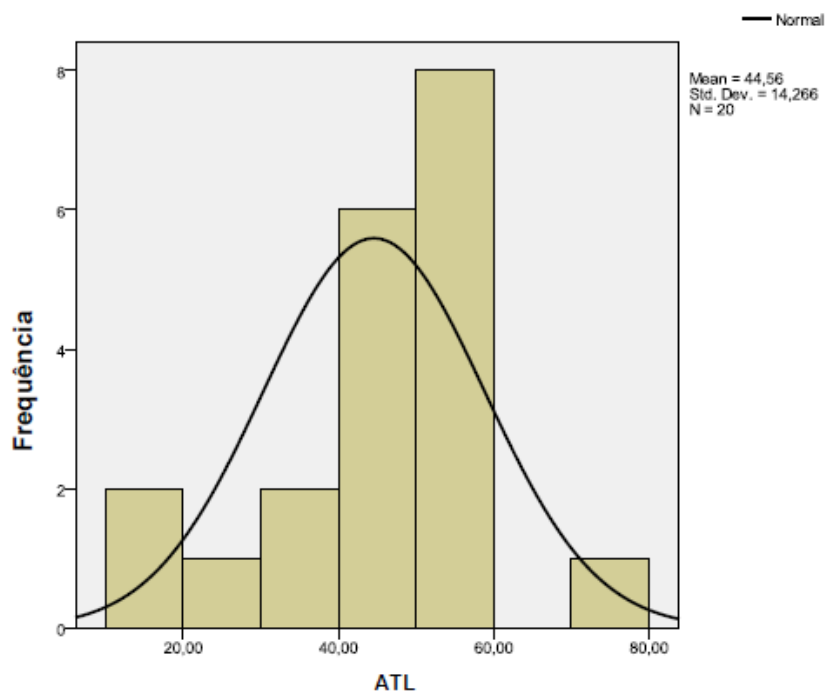


Figura 4.65 - Histograma para os valores de coeficiente de atrito lateral.

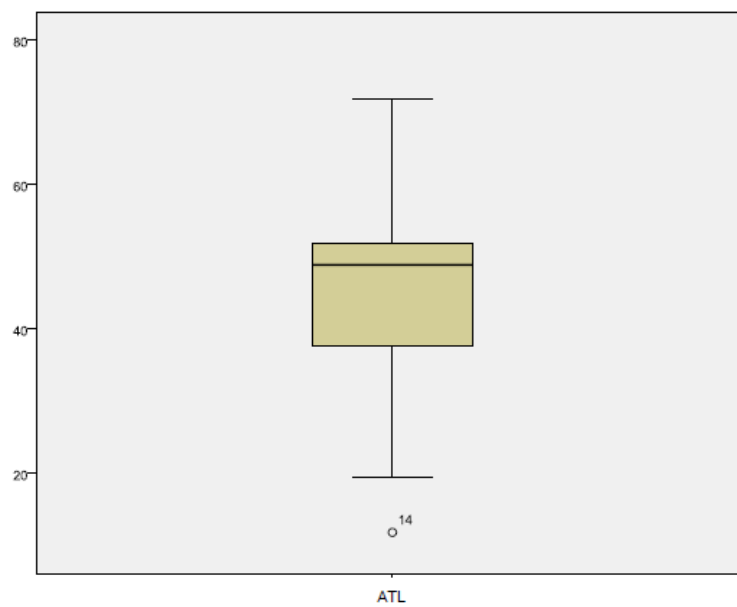


Figura 4.66 - *Box plot* para os valores de coeficiente de atrito lateral.

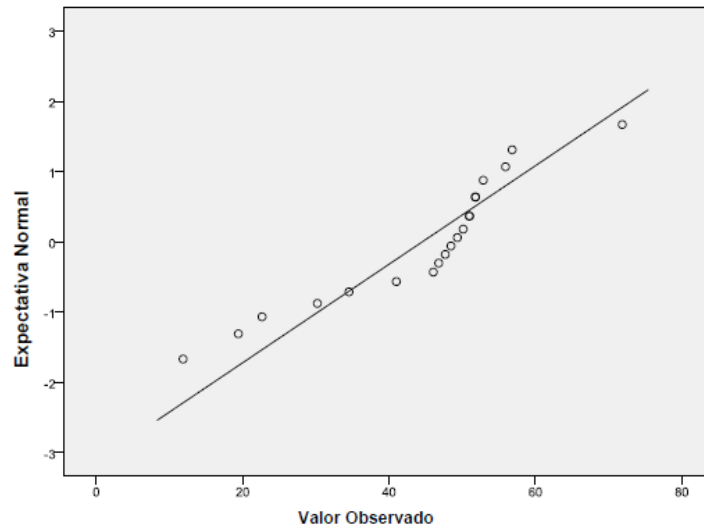


Figura 4.67 - Gráfico Q-Q para os valores de coeficiente de atrito lateral.

Tensão de Ruptura do Solo

As Figuras 4.68, 4.69 e 4.70 apresentam respectivamente os gráficos de histograma, *Box plot* e Q-Q para os valores de Tensão de ruptura obtidos.

O histograma desta variável indica uma forte tendência de distribuição normal, com grande concentração dos valores em torno da média e a suavização intensa, porém gradual, conforme se distanciam da mesma.

O gráfico *Box plot* confirma a concentração dos valores em torno da média (4480 kPa), com um desvio padrão de 1168 kPa e indica forte simetria em sua distribuição, apresentando, no entanto, alguns pontos fora dos limites de distribuição.

O gráfico Q-Q mostra uma boa aderência entre os valores e a expectativa de frequência, apresentando dois pontos destoantes do restante das amostras, como sugerido no gráfico *Box plot*.

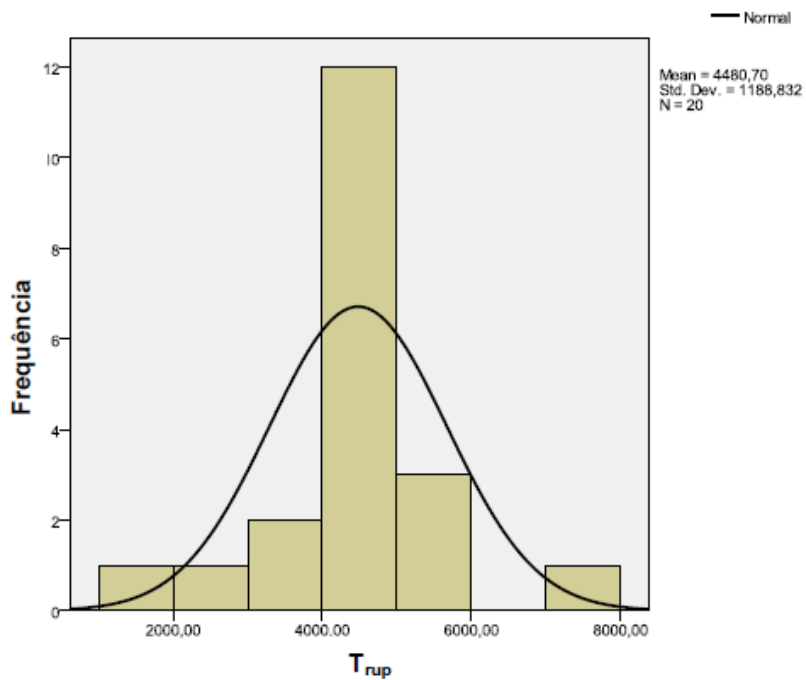


Figura 4.68 - Histograma para os valores de coeficiente de Tensão de ruptura.

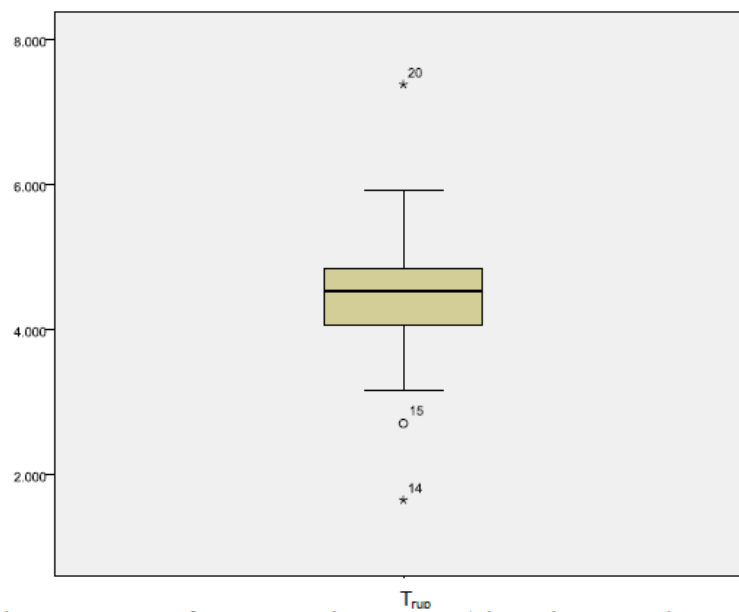


Figura 4.69 - Box plot para os valores de coeficiente de Tensão de ruptura.

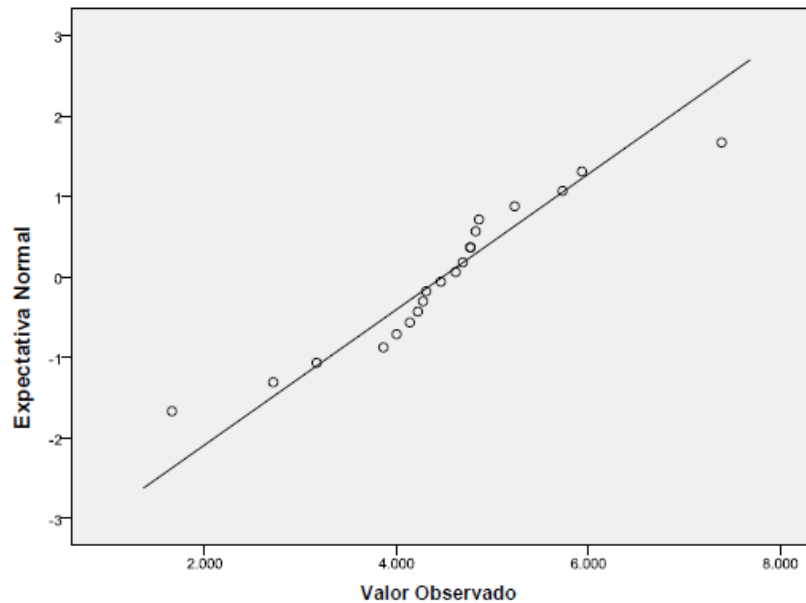


Figura 4.70 - Gráfico Q-Q para os valores de Tensão de ruptura.

4.3.3.2- REGRESSÃO LINEAR

Para a determinação do modelo de previsão das propriedades teste tipo de solo utilizou-se os dados apresentados na Tabela 4.19.

Tabela 4.19 - Excerto da base de dados para elaboração dos modelos – silte roxo.

Profundidade (m)	N _{SPT}	Tensão de ruptura (kPa)	Atrito unitário lateral (kPa)
15	31	4769	50
16	31	4769	50
17	29	4461	47
18	28	4307	46
19	30	4615	49
20	34	5230	55
15	31	4859	51
16	31	4275	51

4.3.3.3- MODELOS

Assim como para a argila, a etapa de validação apontou uma boa capacidade de previsão para a tensão de ruptura e uma boa capacidade de previsão para o atrito unitário lateral.

Tensão de ruptura

A Equação 4.15 apresenta a relação obtida para a estimativa dos valores de tensão de ruptura.

$$Trup (kPa) = 270,73 - 27,89 x Prof. + 153,20 x N_{SPT} \quad (4.15)$$

Para a estimativa das tensões de ruptura foram considerados apenas os valores de profundidade e N_{SPT} . Aparentemente ocorre uma inconsistência física quando, de acordo com o modelo os fatores de atrito lateral diminuem com a profundidade. Entretanto deve-se ressaltar que se trata de uma equação bidimensional e que as variáveis independentes também são correlacionáveis entre si, tornando a análise mais complexa. A Figura 4.71 apresenta as relações entre tensões de ruptura previstas pelo modelo e as efetivamente medidas.

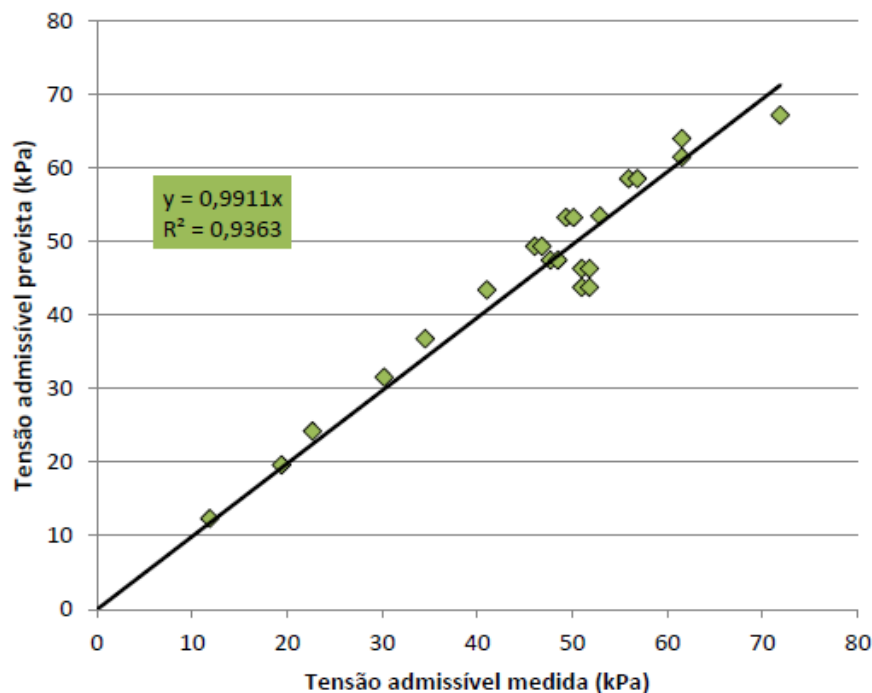


Figura 4.71 - Relação entre valores de Tensão de ruptura medidos e previstos.

Atrito unitário Lateral

A Equação 4.16 apresenta a relação entre o atrito unitário lateral, a profundidade e o N_{SPT} .

$$ATL (kPa) = -15,36 + 2,54 x Prof. + 0,68 x N_{SPT} \quad (4.16)$$

Observa-se que os fatores de atrito lateral partem de um valor residual e aumentam com a profundidade e aumentam com o N_{SPT} .

A Figura 4.72 apresenta a relação entre os valores de atrito unitário lateral previstos pelo modelo e efetivamente medidos.

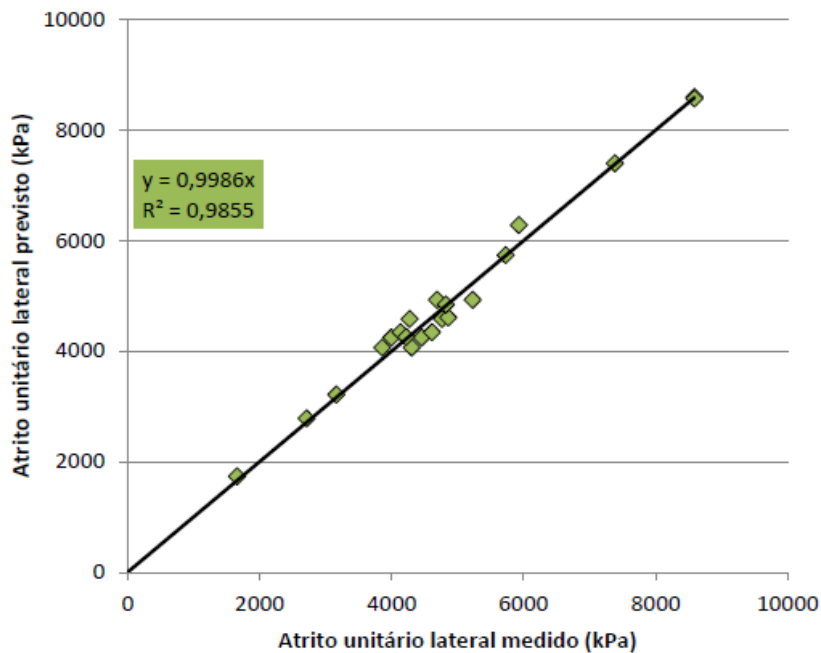


Figura 4.72 - Relação entre valores de atrito unitário lateral medidos e previstos pela Equação 4.16.

4.3.4- VALIDAÇÃO

Para a validação dos modelos produzidos a partir de dados de provas de carga contou-se com 26 provas de carga. Deste modo conseguiu-se êxito na validação dos modelos de previsão de tensão de ruptura e atrito unitário lateral.

Com o objetivo de tornar a leitura mais familiar as Figuras 4.73 e 4.74 apresentam, respectivamente, as relações entre atrito unitário lateral previsto e medido e tensão de ruptura prevista e medida em termos de capacidade de carga. Para tanto se utilizou da geometria das estacas para calculá-las.

Nestas análises estão incluídos os modelos desenvolvidos para cada tipo de solo: argila, silte amarelo e silte roxo. Cada um dos modelos foi incorporado na sua respectiva camada, resultando nas capacidades de carga finais apresentadas.

A correlação encontrada para os valores de carga de ruptura de ponta mostram uma excelente capacidade de previsão dos referentes modelos, além disso, a inclinação da curva de relação entre os valores previstos e medidos é muito próxima do valor teórico perfeito (1,0).

A correlação encontrada para os valores de carga de ruptura por atrito lateral aponta uma relação forte entre os valores previstos e medidos, entretanto, aponta a necessidade de aprimoramento do modelo.

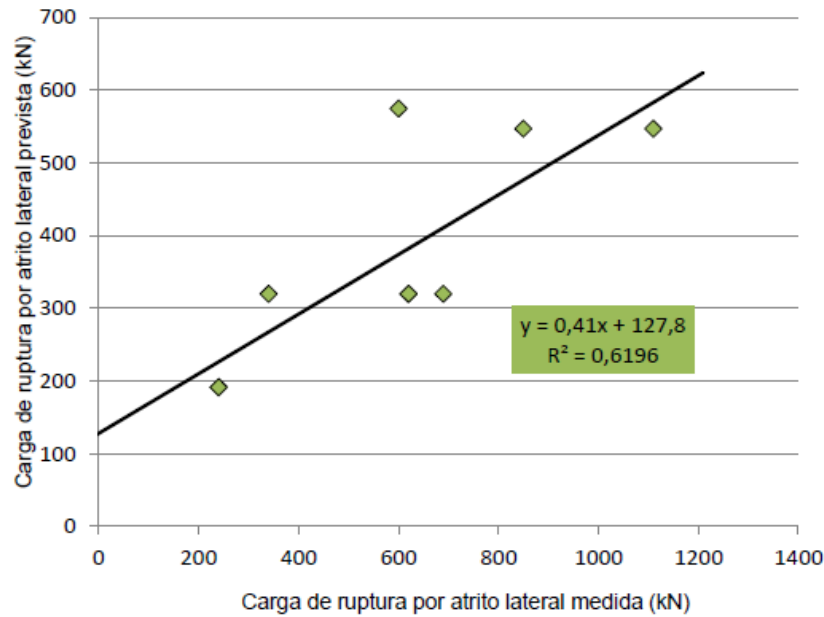


Figura 4.73 - Relação entre carga de ruptura por atrito lateral medida e prevista pelas Equações 4.12, 4.14 e 4.16.

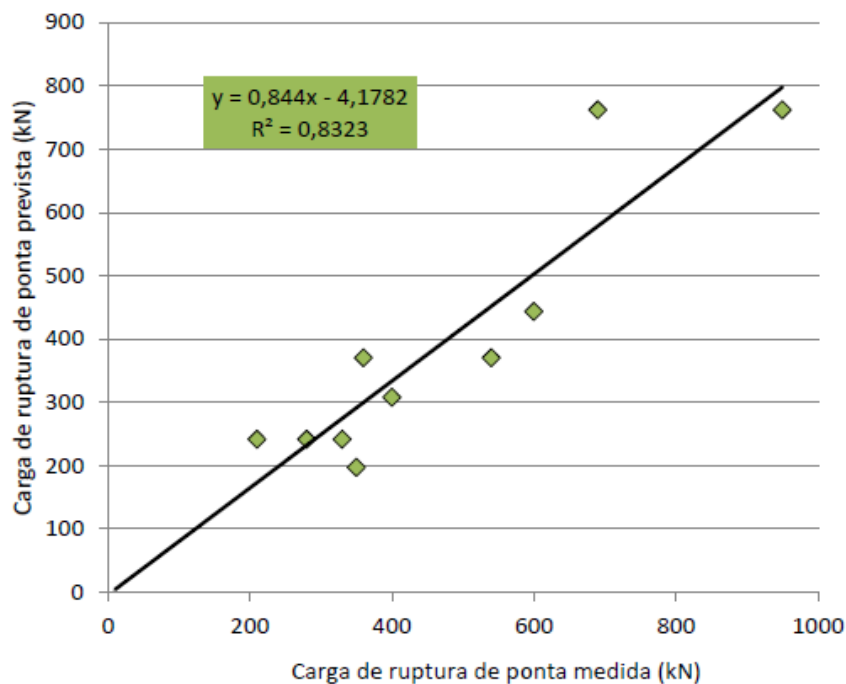


Figura 4.74 - Relação entre carga de ruptura de ponta medida e prevista pelas Equações 4.11, 4.13 e 4.15.

4.3.5- AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DOS MODELOS

Com o objetivo de avaliar o desempenho dos modelos desenvolvidos foi realizada uma comparação nas suas previsões.

Foram selecionadas algumas sondagens, de maneira plenamente aleatória e aplicaram-se os modelos desenvolvidos a partir dos dados de laboratório para prever coesão e ângulo de atrito.

Com os dados parâmetros de coesão e ângulo de atrito calculou-se o atrito unitário lateral, estimando o peso específico do solo e o coeficiente de empuxo no repouso. Os valores foram estimados com base nos valores observados no próprio banco de dados. A Equação 4.17 foi utilizada no cálculo do atrito lateral.

$$\tau = c + \sigma_n \tan(\phi) \quad (4.17)$$

Onde:

τ é a tensão de cisalhamento,

c é a coesão,

σ_n é a tensão normal,

ϕ é o ângulo de atrito.

O atrito lateral foi calculado a partir dos modelos gerados com base no banco de dados de prova de carga, considerando os mesmos boletins de sondagem utilizados para o cálculo a partir dos modelos de laboratório.

Desse modo podem-se comparar os dois modelos gerados. A Figura 4.75 mostra o resultado da comparação.

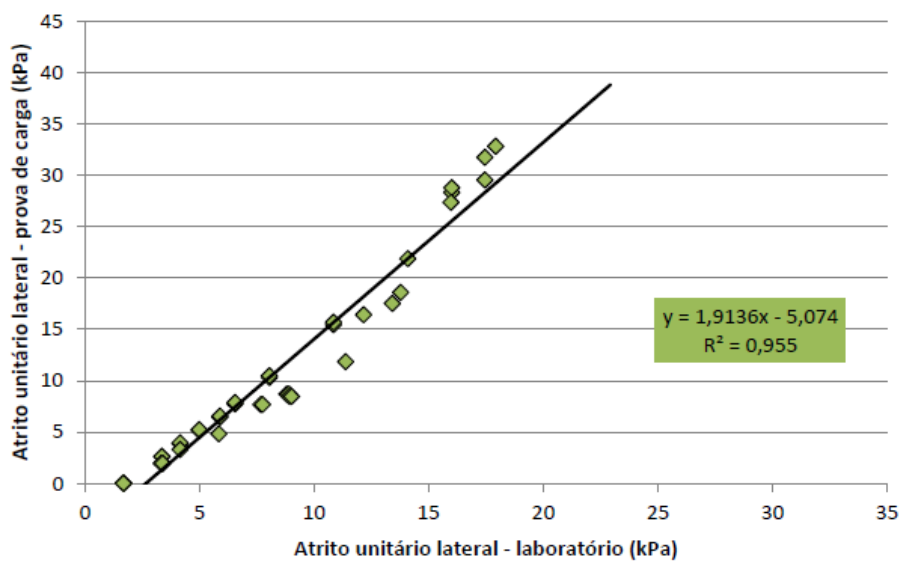


Figura 4.75 - Comparação entre os modelos gerados a partir dos dados de laboratório e gerados a partir de provas de carga.

4.4- APLICAÇÃO DOS MODELOS NA ESPACIALIZAÇÃO DE OBRAS

A aplicação dos modelos criados é muito diversificada, a depender do interesse, necessidade e informações disponíveis.

De modo a ilustrar a aplicação dos modelos são apresentados dois exemplos. Nestes exemplos utilizaram-se os boletins de sondagem do tipo SPT para prever os valores de atrito unitário lateral e Tensão de ruptura do solo em várias profundidades.

Os dados utilizados são provenientes de duas obras executadas na região de estudo e foram escolhidas de modo a se ter duas situações distintas, a primeira com subsolo heterogêneo e a segunda com subsolo bastante homogêneo.

4.4.1- EXEMPLO 1

Este exemplo refere-se a uma região com subsolo, do ponto de vista geotécnico, bastante heterogêneo.

4.4.1.1- LOCALIZAÇÃO

O terreno em questão situa-se à Rua 25 Norte Quadra 05, com coordenadas: $15^{\circ}50'12,60''S$ e $48^{\circ}01'49,3''O$. Na cidade de Águas Claras, DF.

A região próxima à obra vem vivenciando nos últimos anos um grande crescimento imobiliário, com o surgimento de novos empreendimentos a cada mês.

Do ponto de vista Geotécnico tem-se um subsolo bastante heterogêneo, marcado pela influência do metarritimito. Entretanto tem-se a ocorrência, eventual, de paleocanais assim como a presença de materiais estranhos ao metarritimito trazidos, provavelmente, por processos fluviais e gravitacionais.

A Figura 4.76 aponta a localização do terreno em questão.



Figura 4.76 - Localização do terreno estudado.

4.4.1.2- SONDAGENS

A Figuras 4.77 e 4.78 apresentam, respectivamente, a locação dos furos de sondagem e o boletim de uma das sondagem.

A Figura 4.79 apresenta os dados reunidos dos boletins de sondagem para a obra em questão.

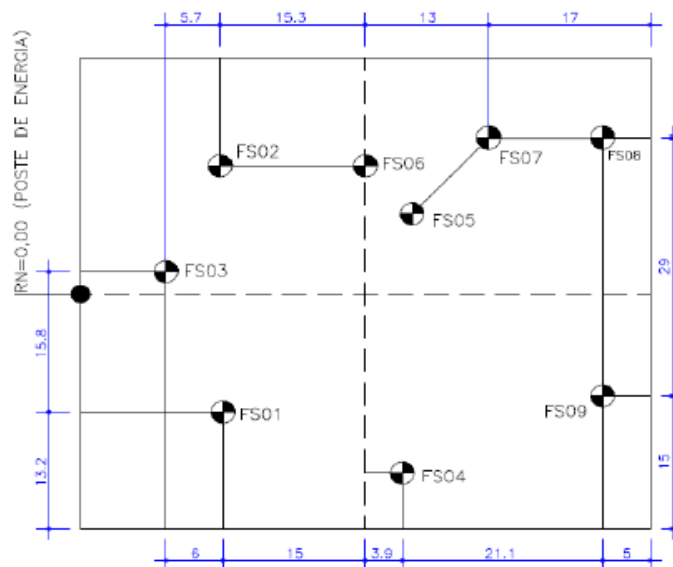
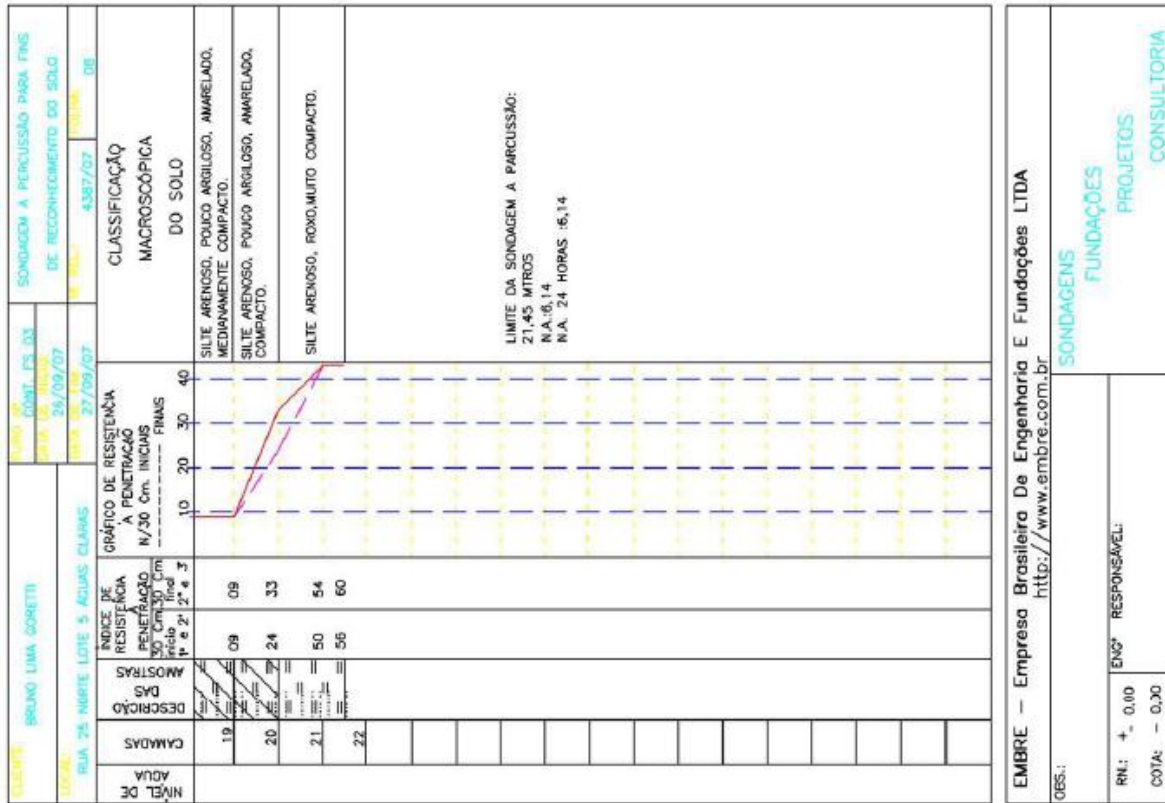


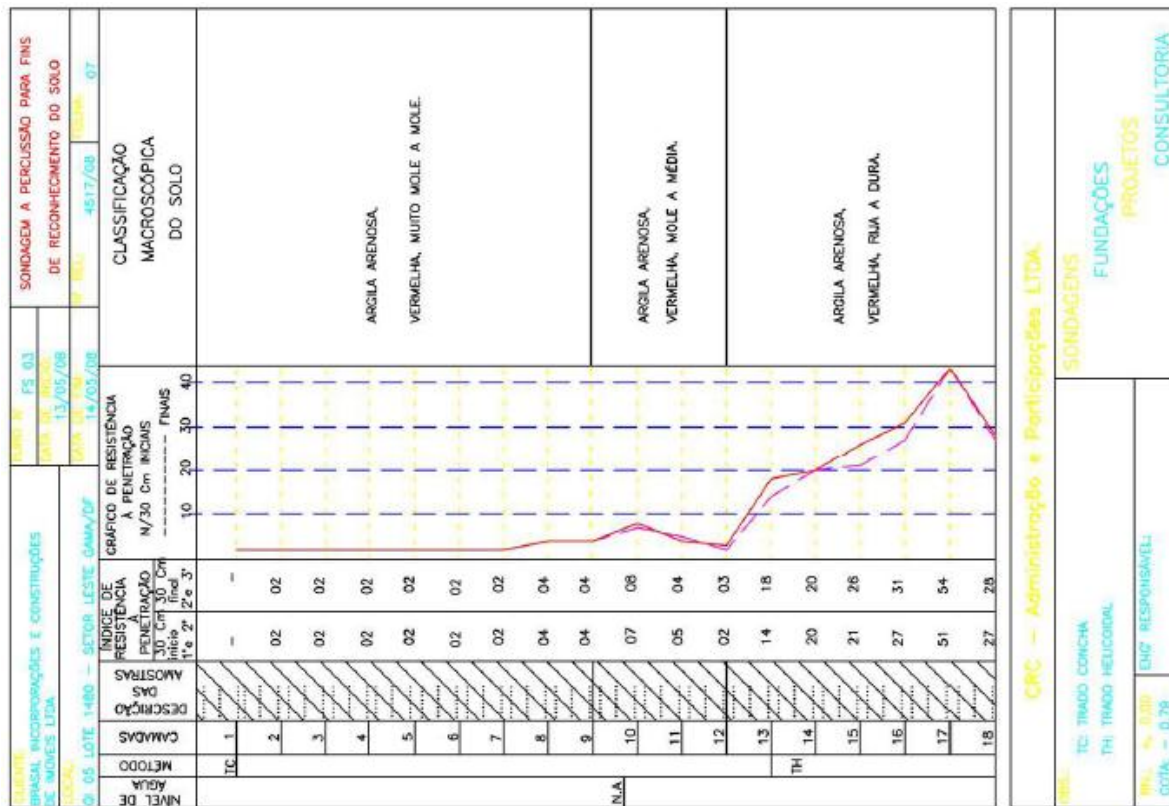
Figura 4.77 - Limites do terreno estudado.



EMBRE – Empresa Brasileira De Engenharia E Fundações LTDA
<http://www.embre.com.br>

SONDAGENS
 FUNDAÇÕES
 PROJETOS
 CONSULTORIA

ENGR. RESPONSÁVEL:
 RN: + 0.00
 COTA: - 0.00



CRC – Administração e Participações Ltda

SONDAGENS
 FUNDAÇÕES
 PROJETOS
 CONSULTORIA

ENGR. RESPONSÁVEL:
 RN: + 0.00
 COTA: - 0.00

Figura 4.78 - Boletim de sondagem para a obra em questão.

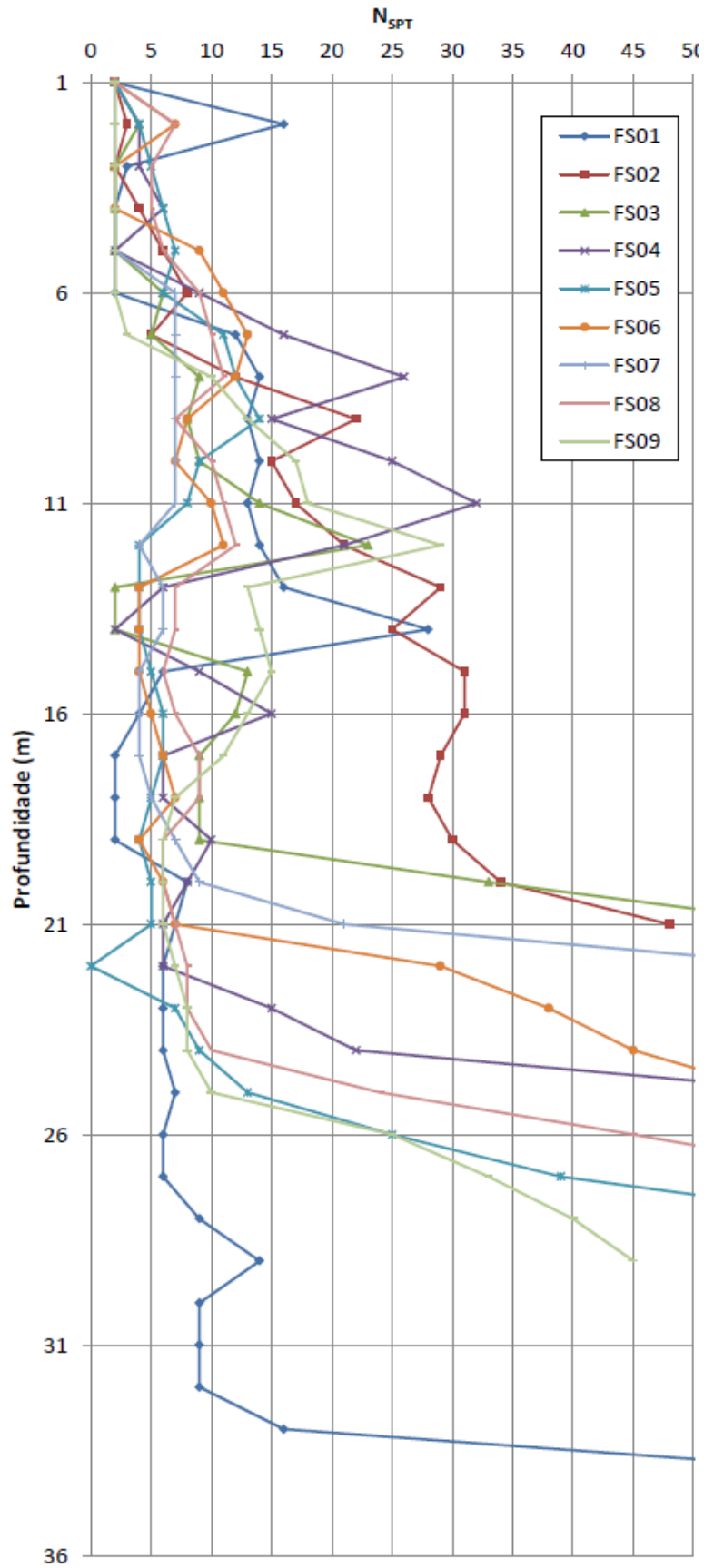


Figura 4.79 - Perfis de sondagem.

4.4.1.3- MODELOS UTILIZADOS

Foram utilizados os modelos provenientes dos dados de provas de carga, tanto para tensão de ruptura quanto para atrito unitário lateral.

Os modelos foram aplicados em conformidade com o tipo de solo apontado nos boletins de sondagem.

4.4.1.4- PRODUTOS GERADOS

Para esta obra em questão foram geradas as seguintes cartas para previsão de atrito lateral:

- ✓ Profundidade de 5,0m
- ✓ Profundidade de 10,0m
- ✓ Profundidade de 15,0m
- ✓ Profundidade de 20,0m

Da mesma maneira foram geradas as seguintes cartas para previsão da tensão de ruptura:

- ✓ Profundidade de 15,0m
- ✓ Profundidade de 17,0m
- ✓ Profundidade de 19,0m
- ✓ Profundidade de 21,0m

As profundidades foram escolhidas de acordo com a situação. Para o atrito unitário lateral procurou-se dividi-las em intervalos de cinco metros a partir do ponto onde se tem maior contribuição do atrito lateral até a profundidade de 20,0m onde provavelmente se localizariam os patamares de assentamento das estacas

Para as tensões de ruptura utilizaram-se intervalos menores e nas cotas onde, acredita-se, poderiam ser assentes as estacas.

As Figuras 4.80, 4.81, 4.82, 4.83, 4.84, 4.85, 4.86 e 4.87 apresentam a distribuição esperada para os fatores de atrito lateral e de tensões de ruptura.

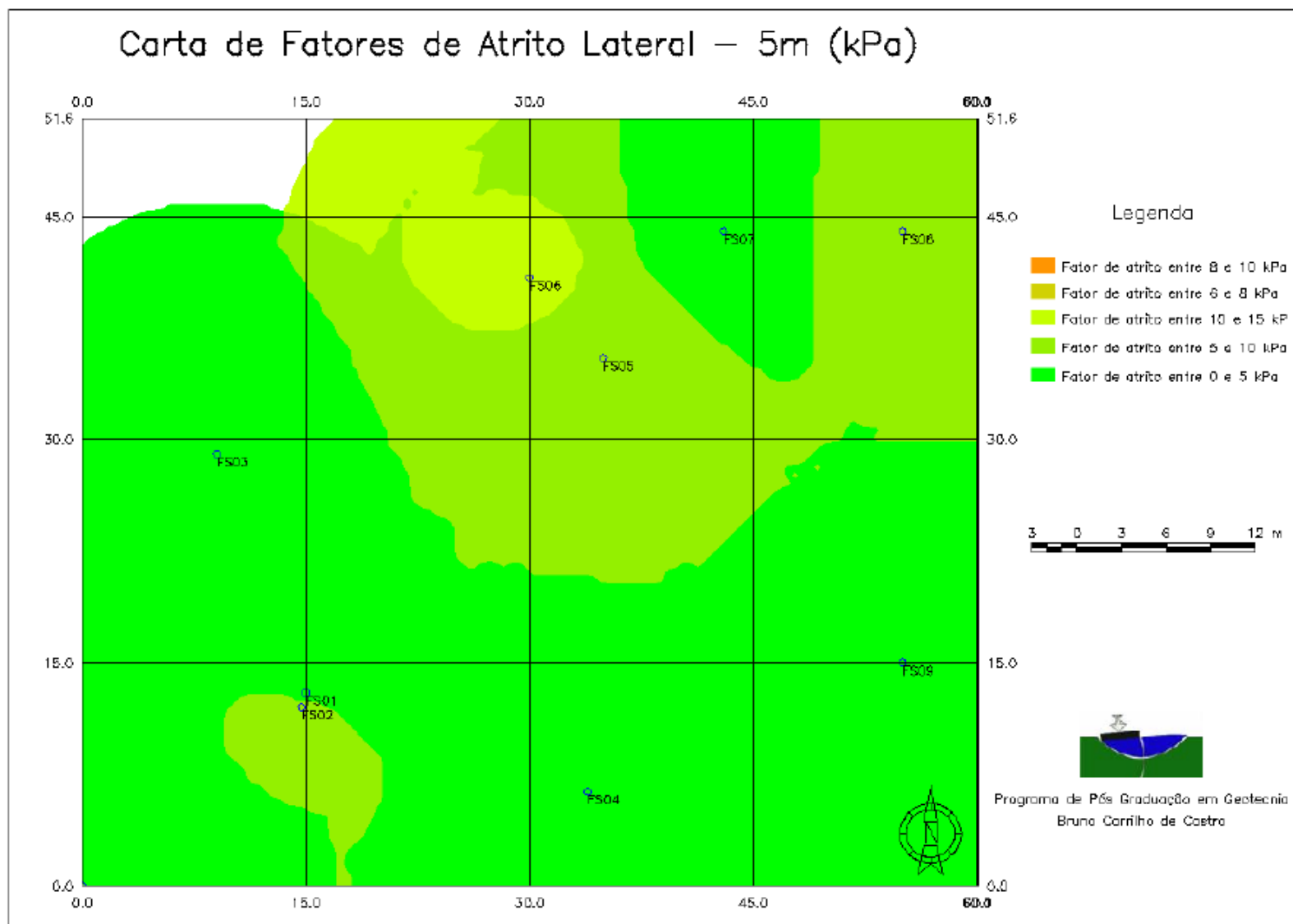


Figura 4.80 - Distribuição esperada para os fatores de atrito lateral 5 m.

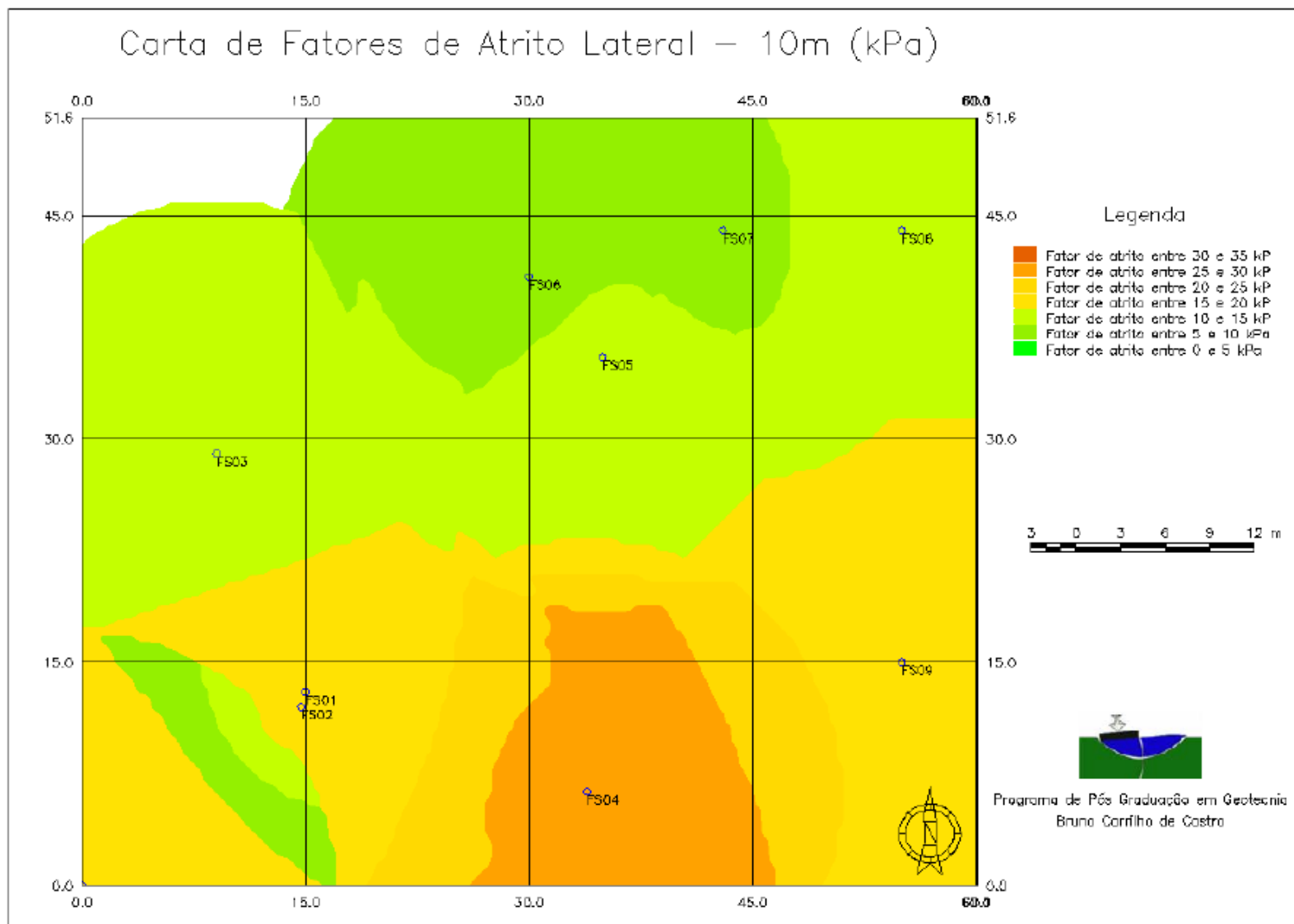


Figura 4.81 - Distribuição esperada para os fatores de atrito lateral 10 m.

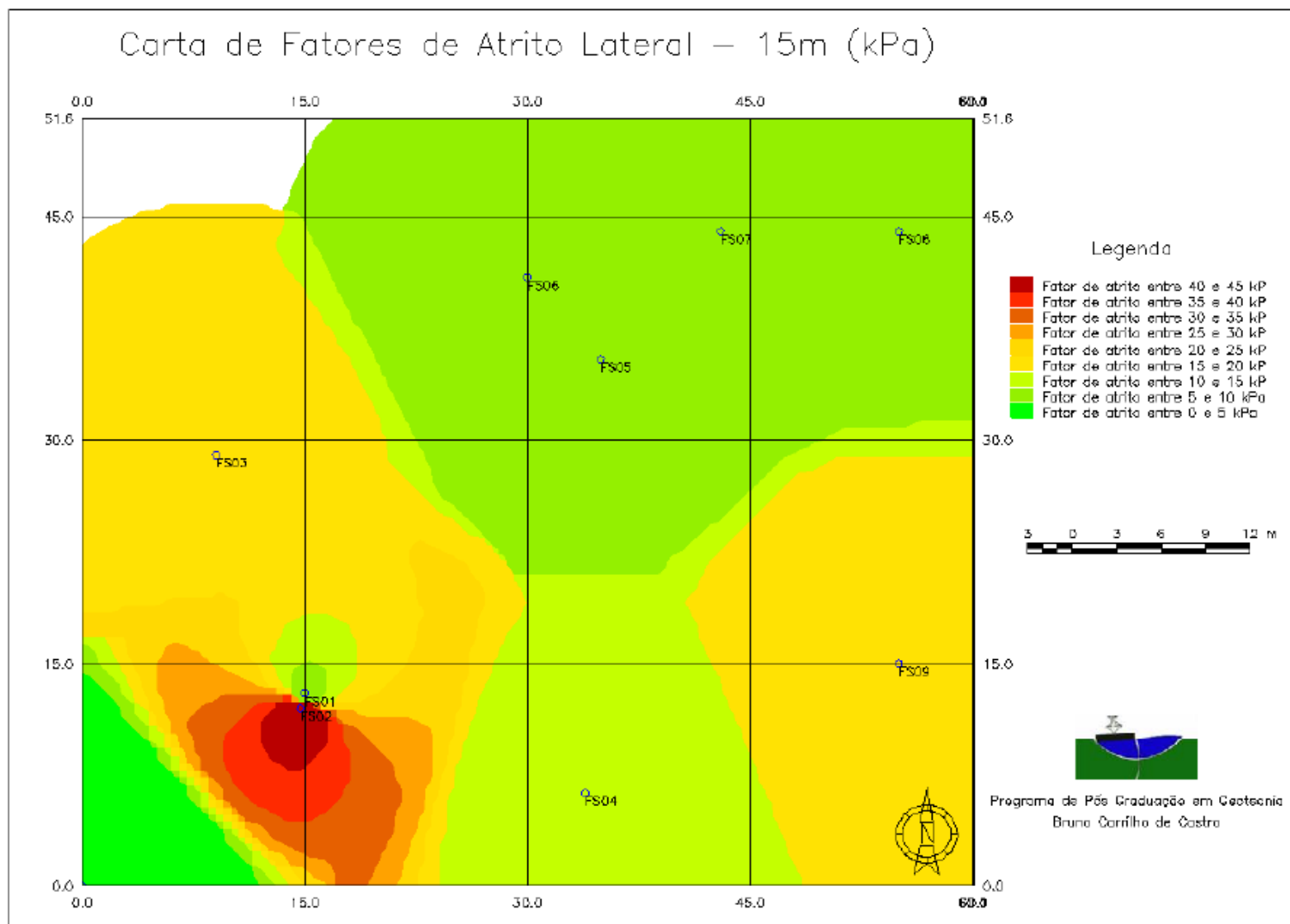


Figura 4.82 - Distribuição esperada para os fatores de atrito lateral 15 m.

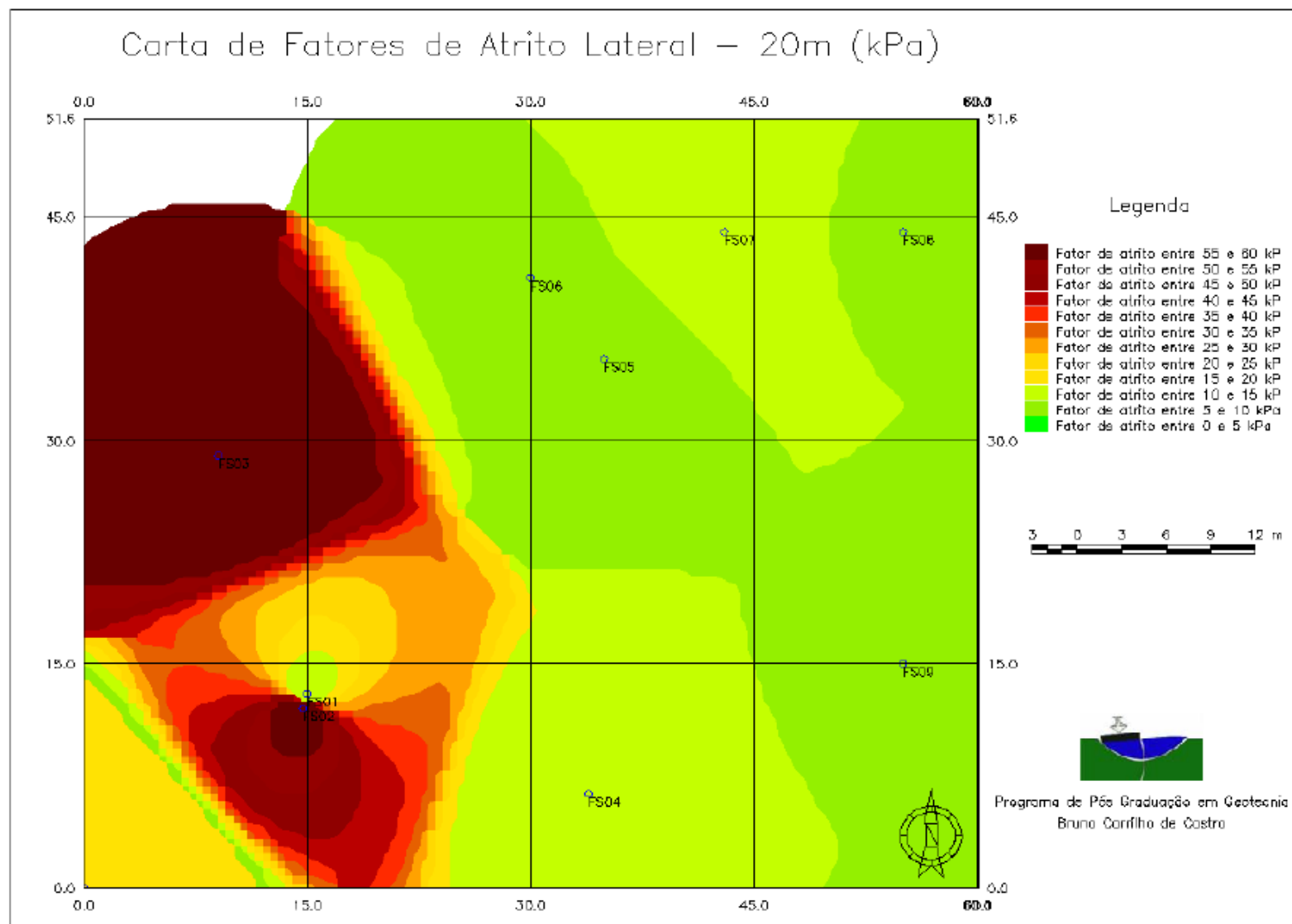


Figura 4.83 - Distribuição esperada para os fatores de atrito lateral 20 m.

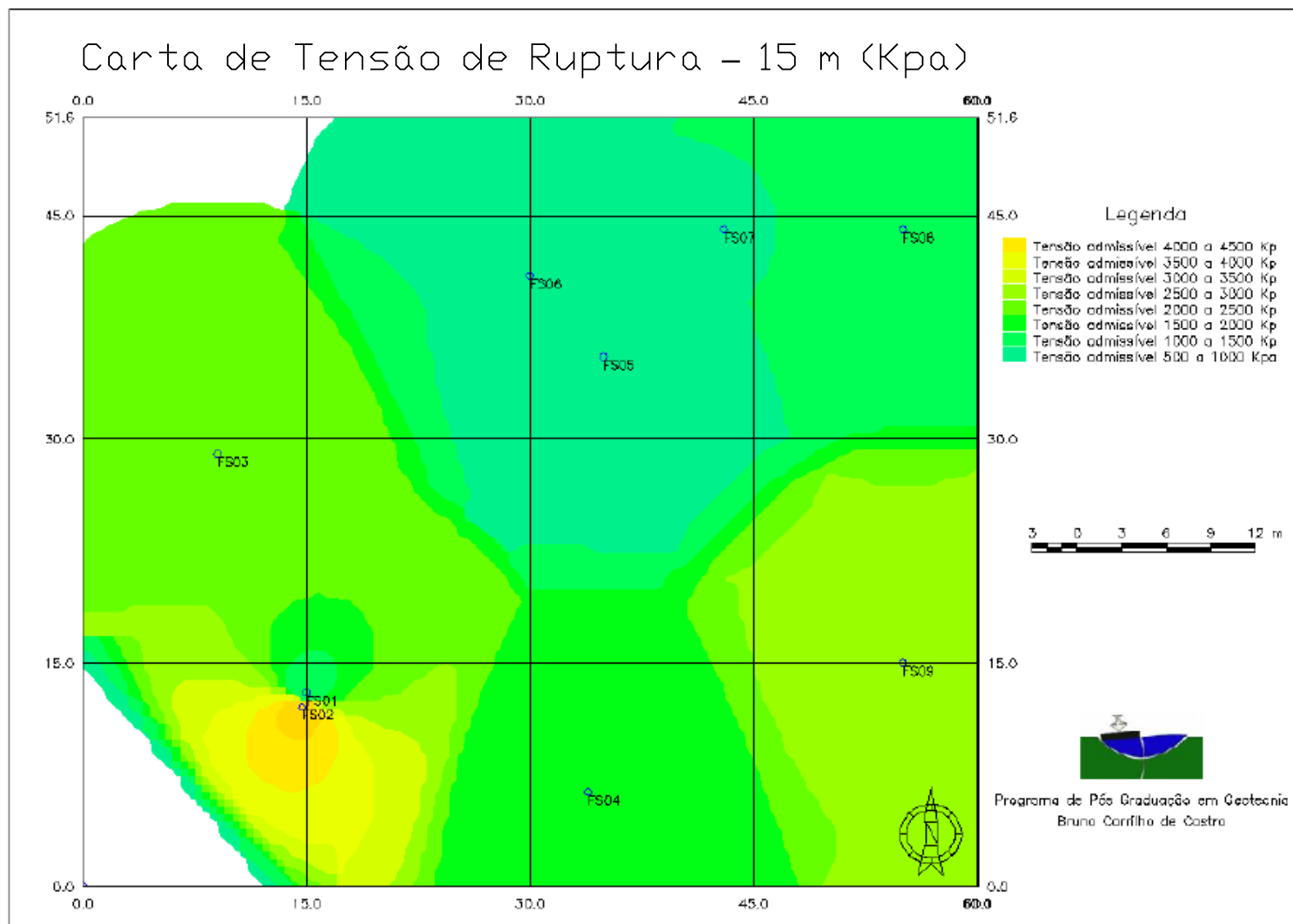


Figura 4.84 - Distribuição esperada para tensões de ruptura 15 m.

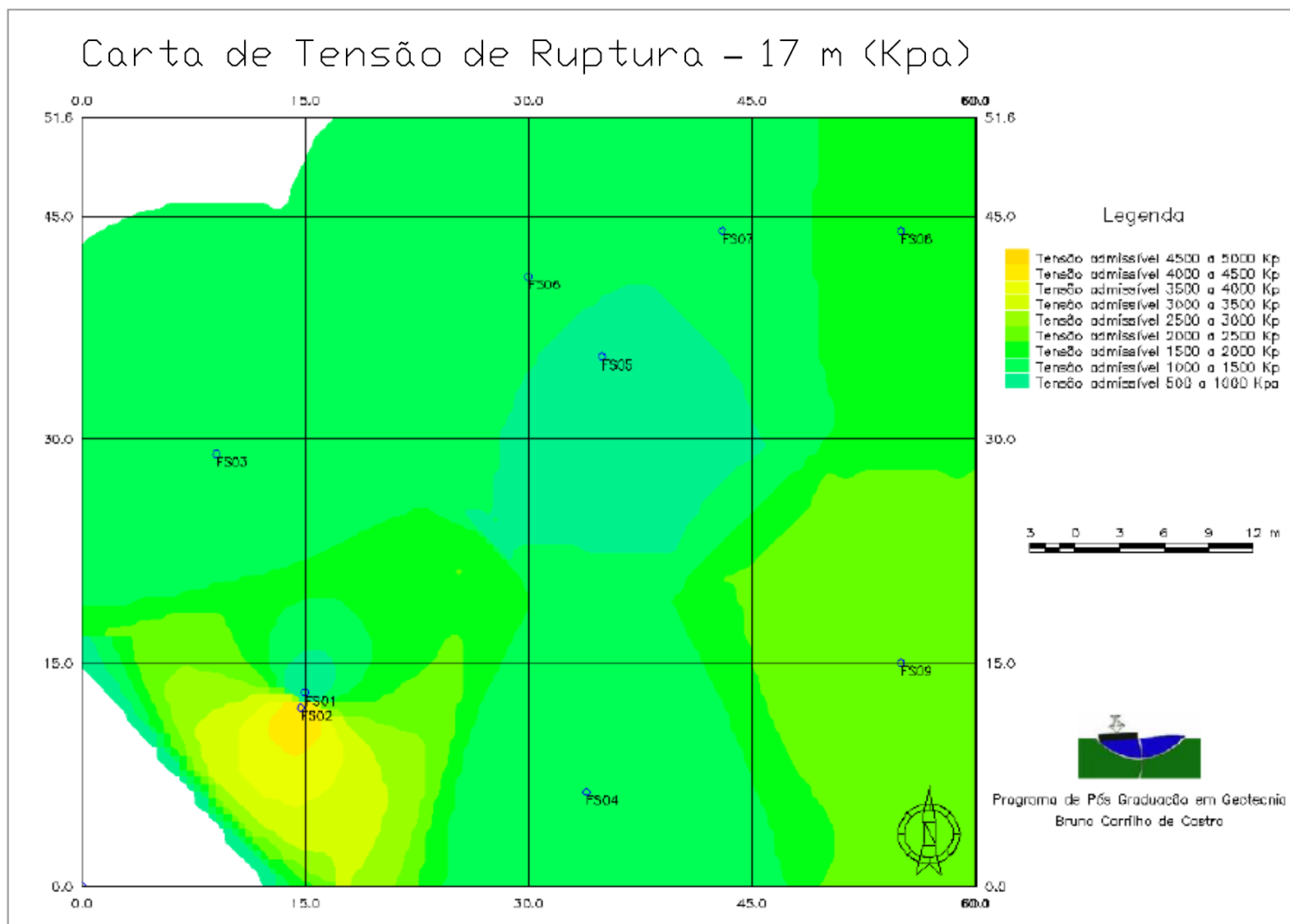


Figura 4.85 - Distribuição esperada para tensões de ruptura 17 m.

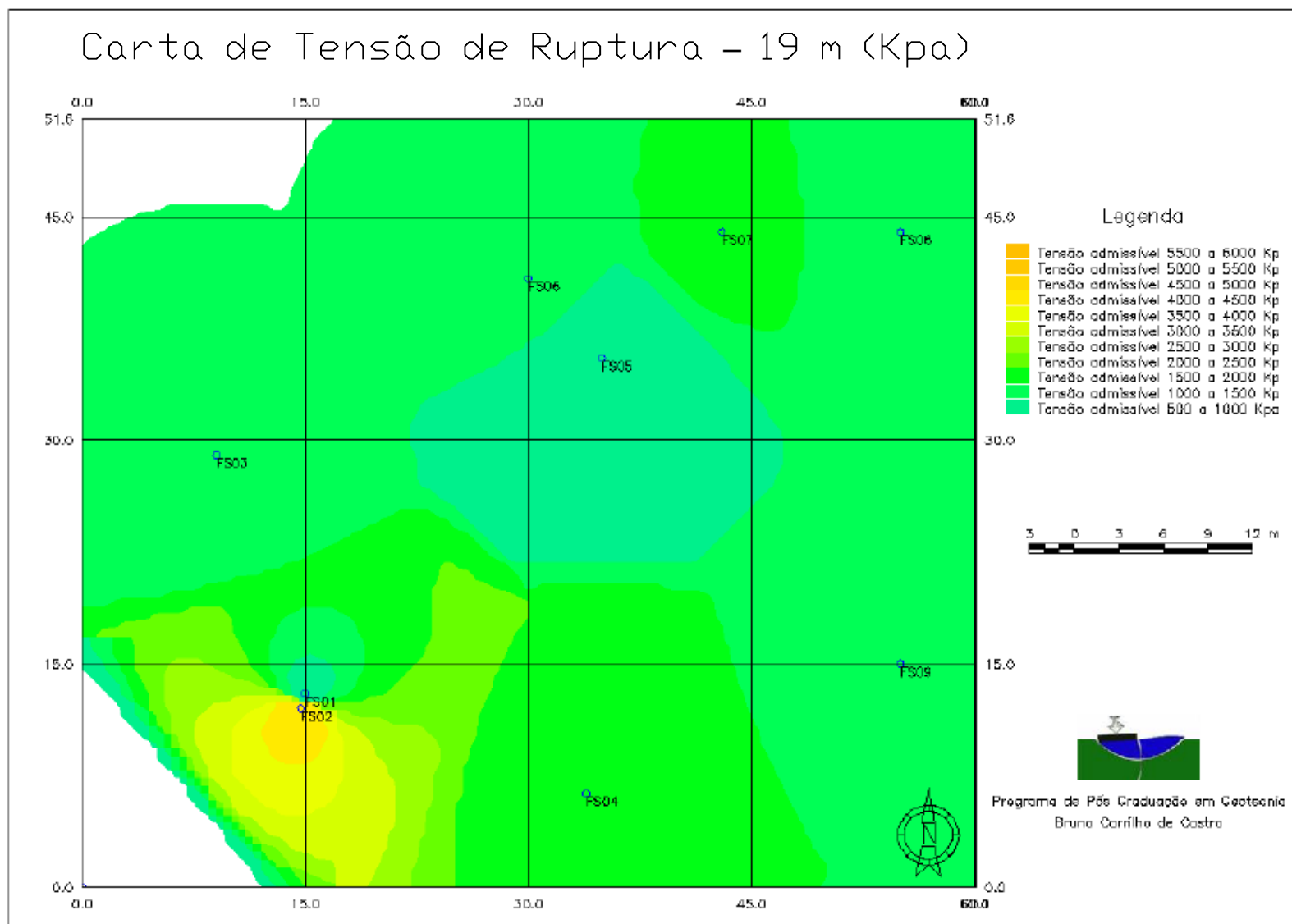


Figura 4.86 - Distribuição esperada para tensões de ruptura 19 m.

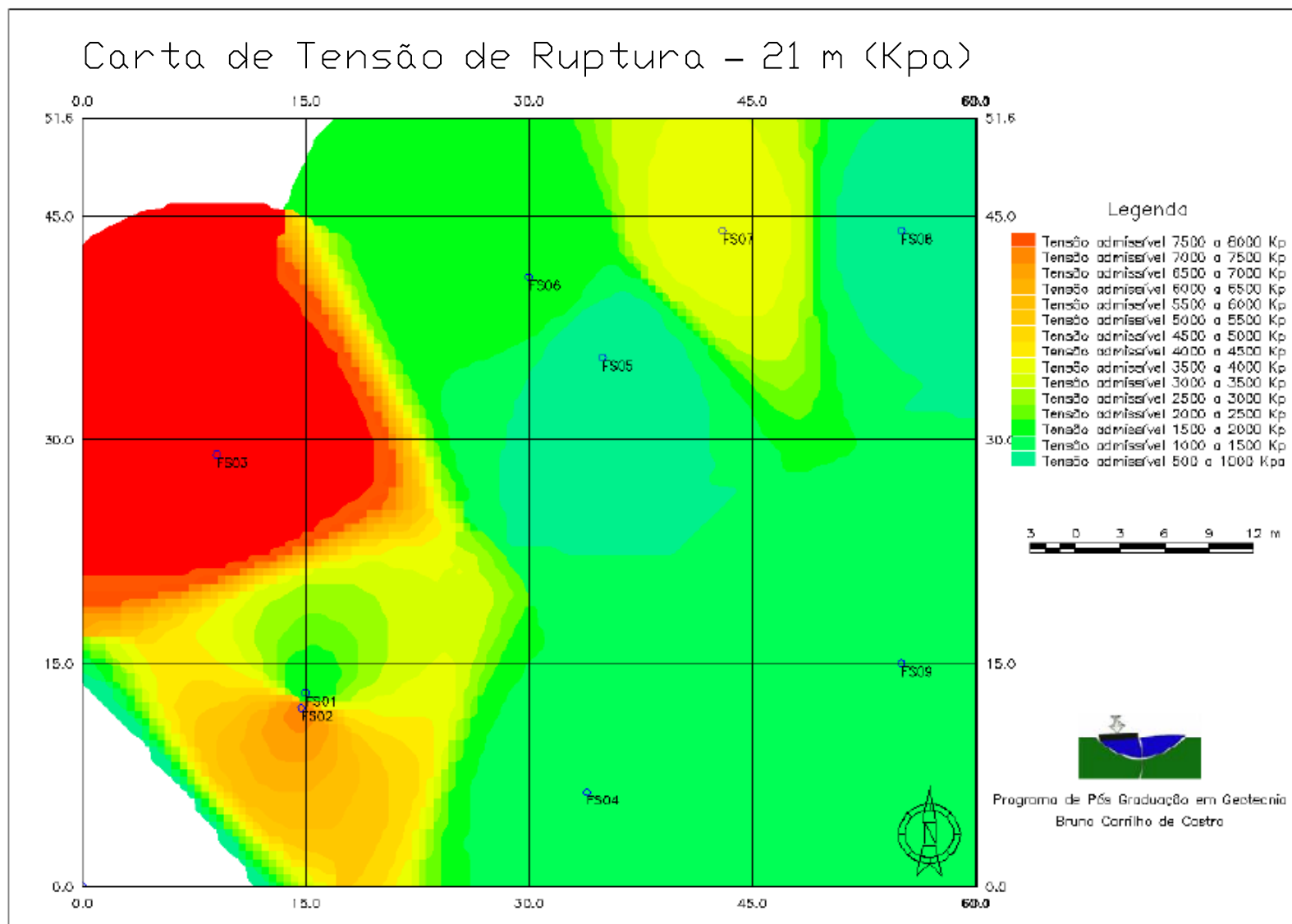


Figura 4.87 - Distribuição esperada para tensões de ruptura 21 m.

4.4.2- EXEMPLO 2

Este exemplo refere-se a uma região com subsolo, do ponto de vista geotécnico, bastante homogêneo.

4.4.2.1- LOCALIZAÇÃO

A obra estudada localiza-se no SCEN Trecho 2, Brasília. A Figura 4.88 apresenta o terreno estudado



Figura 4.88 - Localização da obra estudada.

4.4.2.2- SONDAGENS

A Figura 4.89 apresenta a localização dos furos de sondagem. Nesta obra em particular observa-se uma distribuição linear dos furos de sondagem.

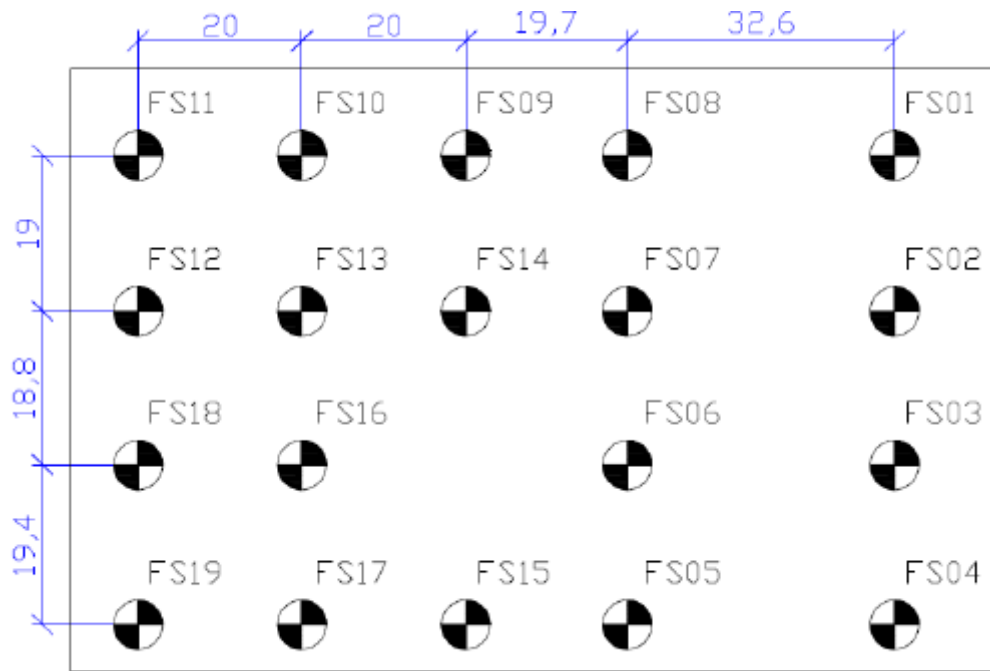
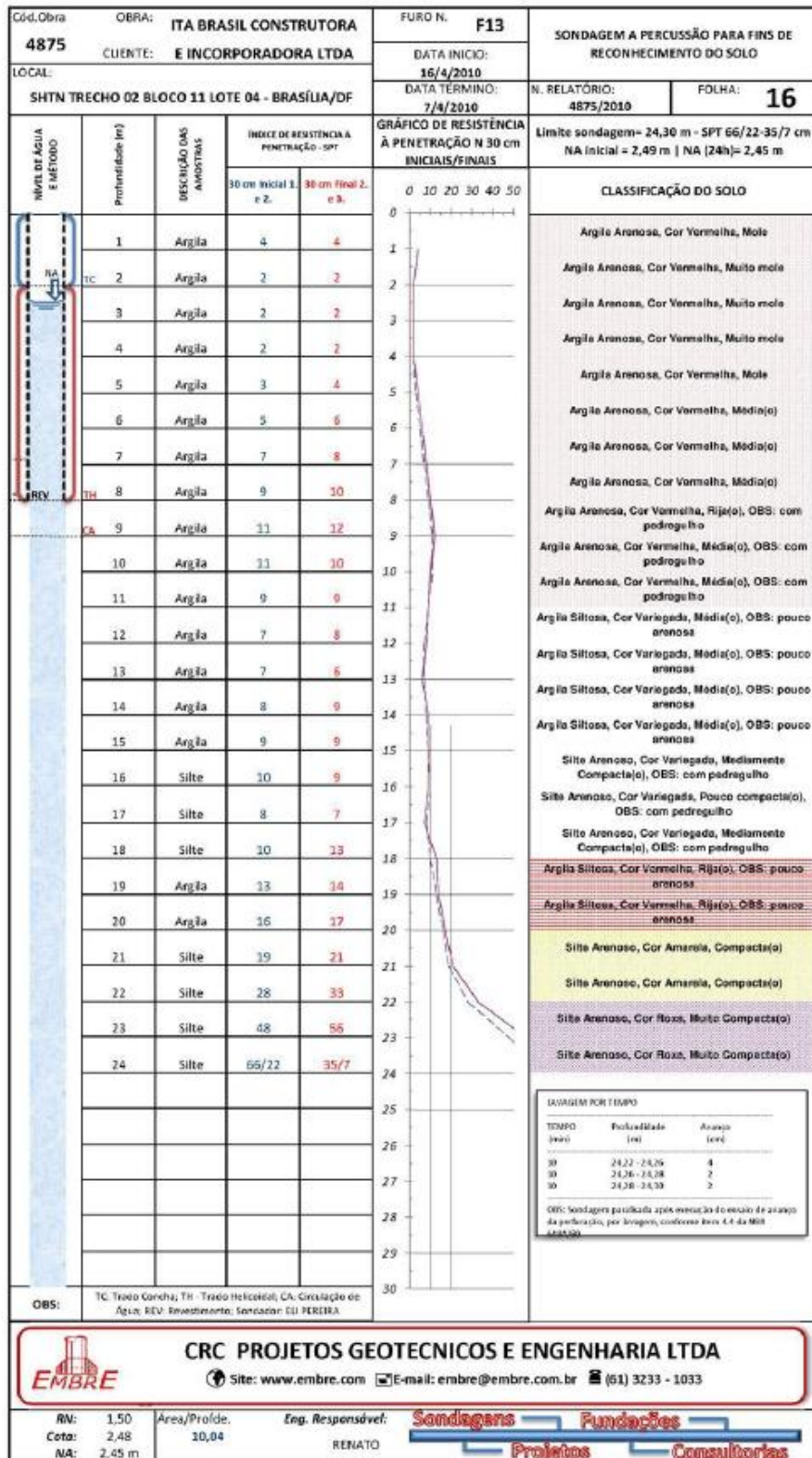


Figura 4.89 - Localização dos furos de sondagem.

A Figura 4.90 apresenta um boletim de sondagem típico para a obra. Destaca-se a descrição estratigráfica do perfil.

A Figura 4.91 apresenta os boletins de sondagem para a referida obra. Observa-se certa homogeneidade no trecho estudado.



Planta Eletrônica: Por Eng. John Ebi

Figura 4.90 - Boletim de sondagem característico para a obra.

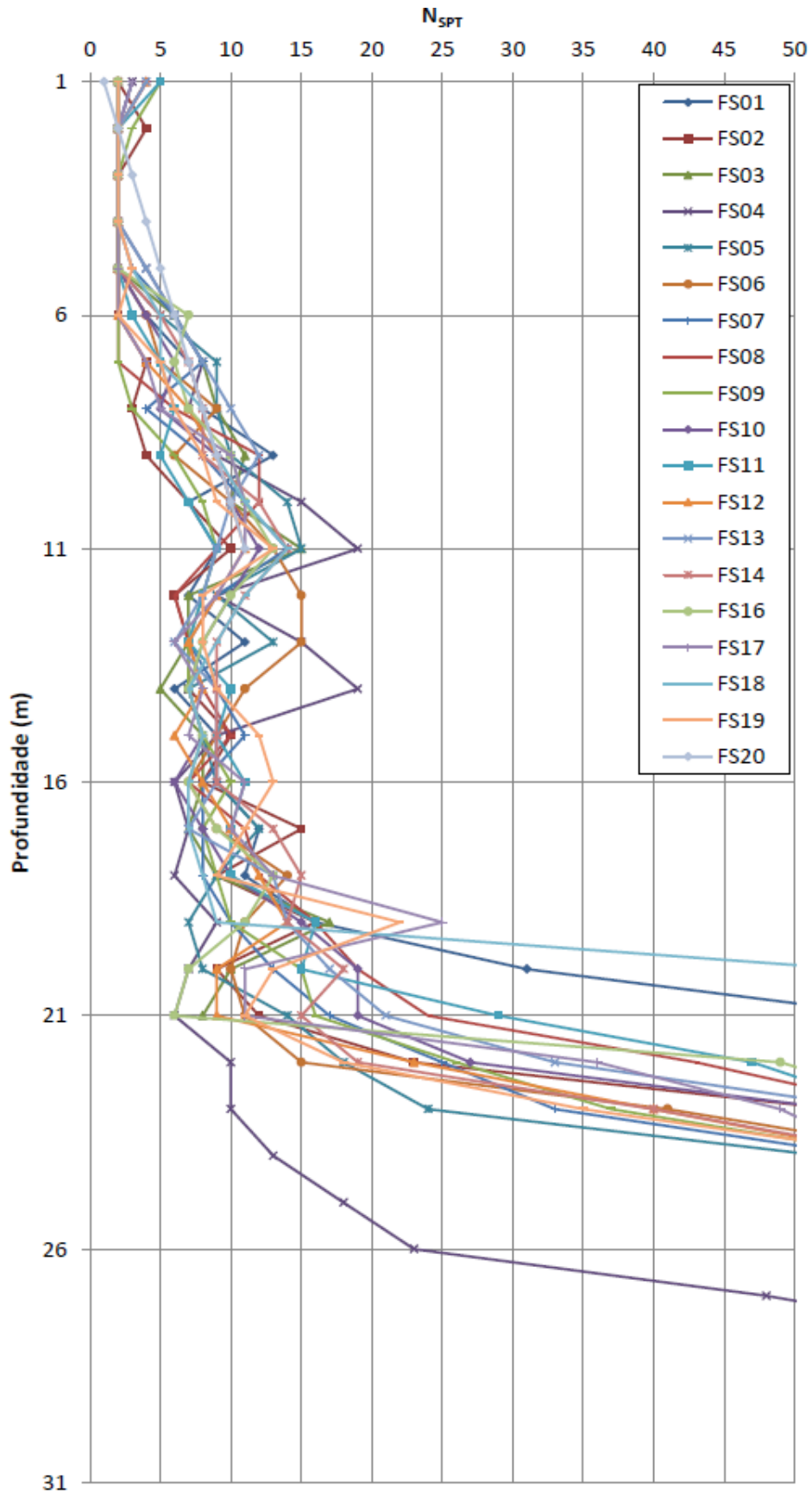


Figura 4.91 - Perfis de sondagem.

4.4.2.3- MODELOS UTILIZADOS

Foram utilizados os modelos provenientes dos dados de provas de carga, tanto para Tensão de ruptura quanto para atrito unitário lateral.

Os modelos foram aplicados em conformidade com o tipo de solo apontado nos boletins de sondagem.

4.4.2.4- PRODUTOS GERADOS

Para esta obra em questão foram geradas as seguintes cartas para previsão de atrito lateral:

- ✓ Profundidade de 15,0m
- ✓ Profundidade de 20,0m

Da mesma maneira foram geradas as seguintes cartas para previsão da tensão de ruptura:

- ✓ Profundidade de 17,0m
- ✓ Profundidade de 19,0m
- ✓ Profundidade de 21,0m

As profundidades foram escolhidas de acordo com a situação. Para o atrito unitário lateral procurou-se dividi-las em intervalos de cinco metros a partir do ponto onde se tem maior contribuição do atrito lateral até a profundidade de 20,0m onde provavelmente se localizariam os patamares de assentamento das estacas

Para as tensões de ruptura utilizaram-se intervalos menores e nas cotas onde, acredita-se, poderiam ser assentes as estacas.

As Figuras 4.92, 4.93, 4.94, 4.95 e 4.96 apresentam a distribuição esperada para os fatores de atrito lateral e de tensões de ruptura.

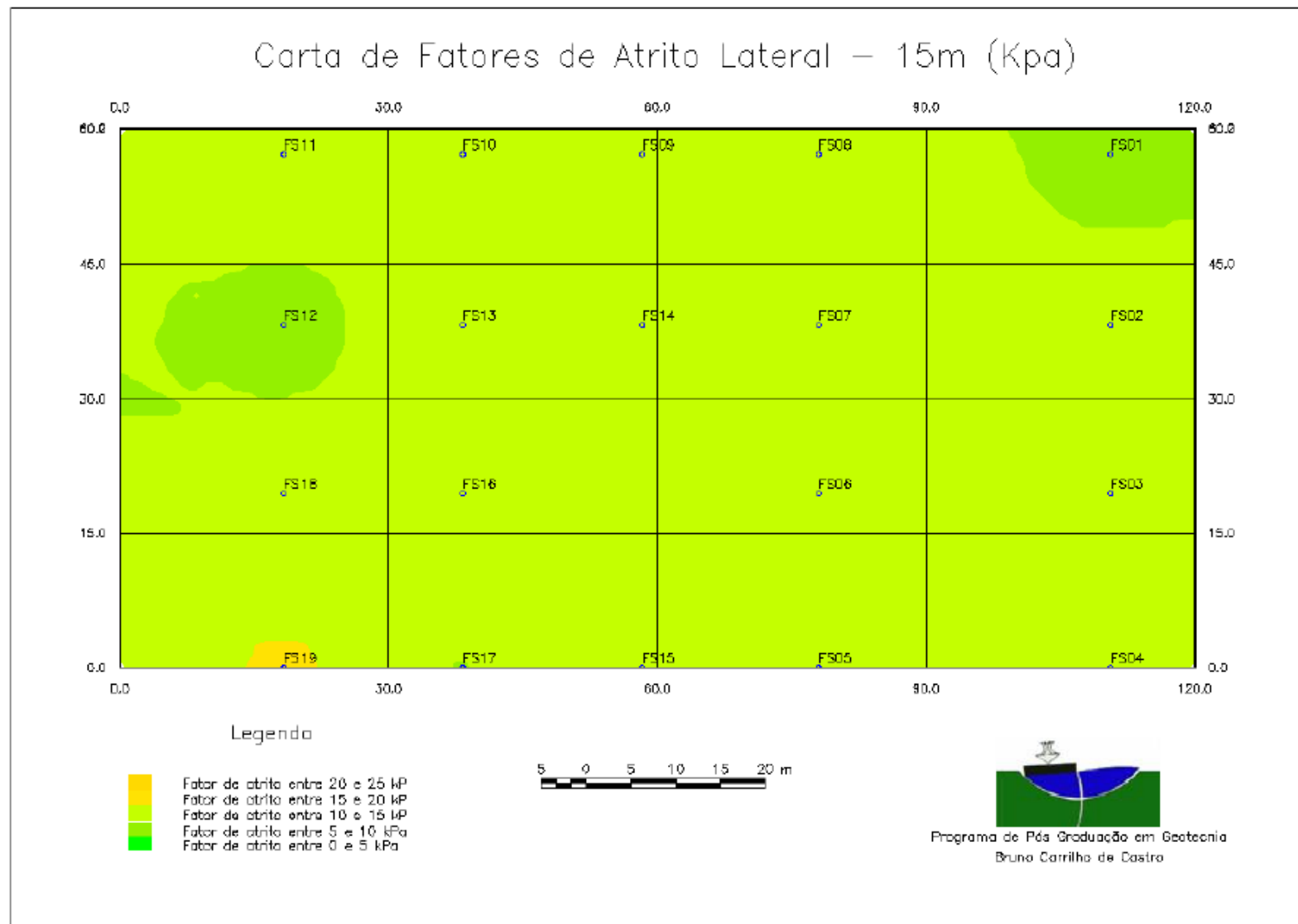


Figura 4.92 - Distribuição esperada para os fatores de atrito lateral 15 m.

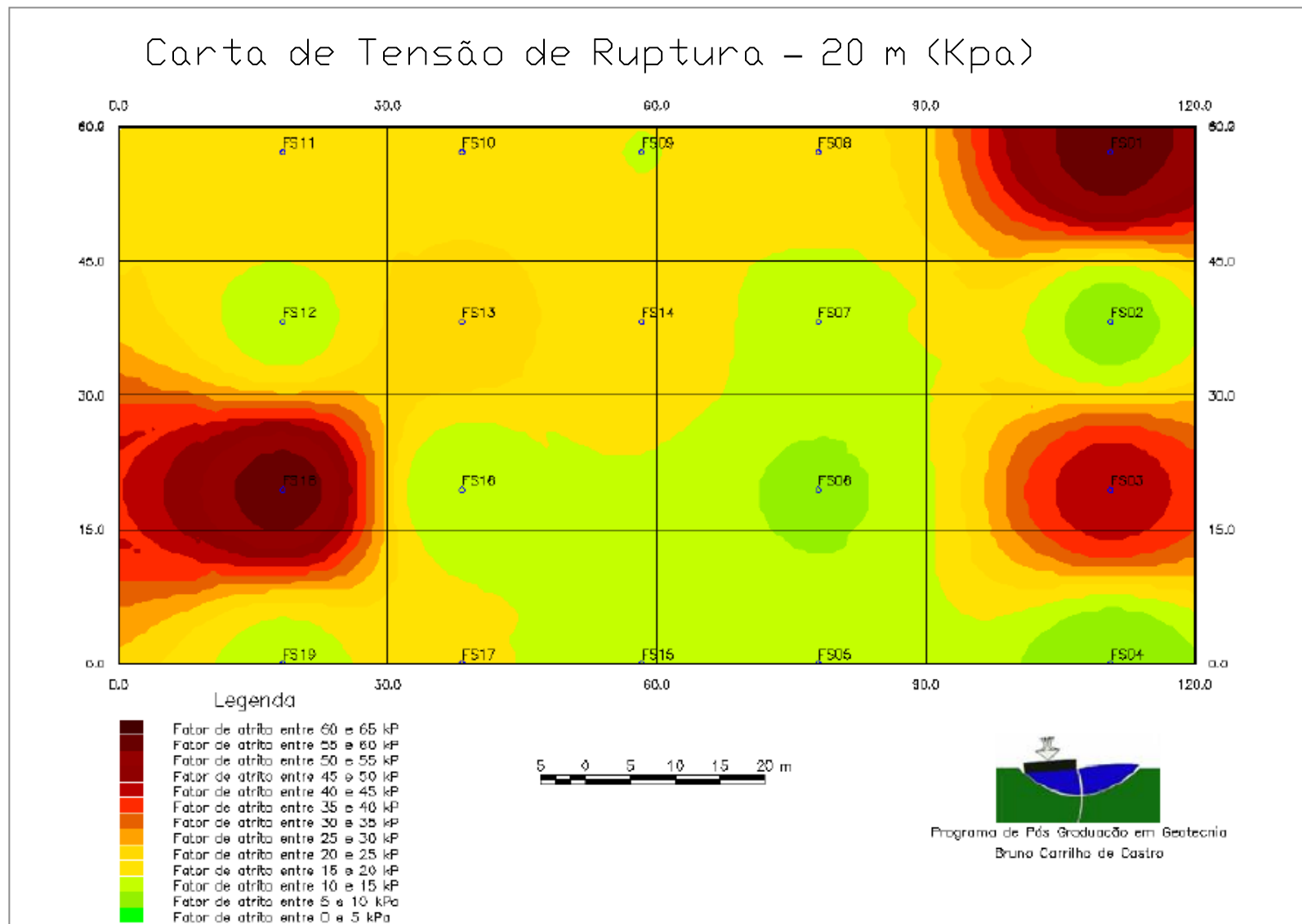


Figura 4.93 - Distribuição esperada para os fatores de atrito lateral 20 m.

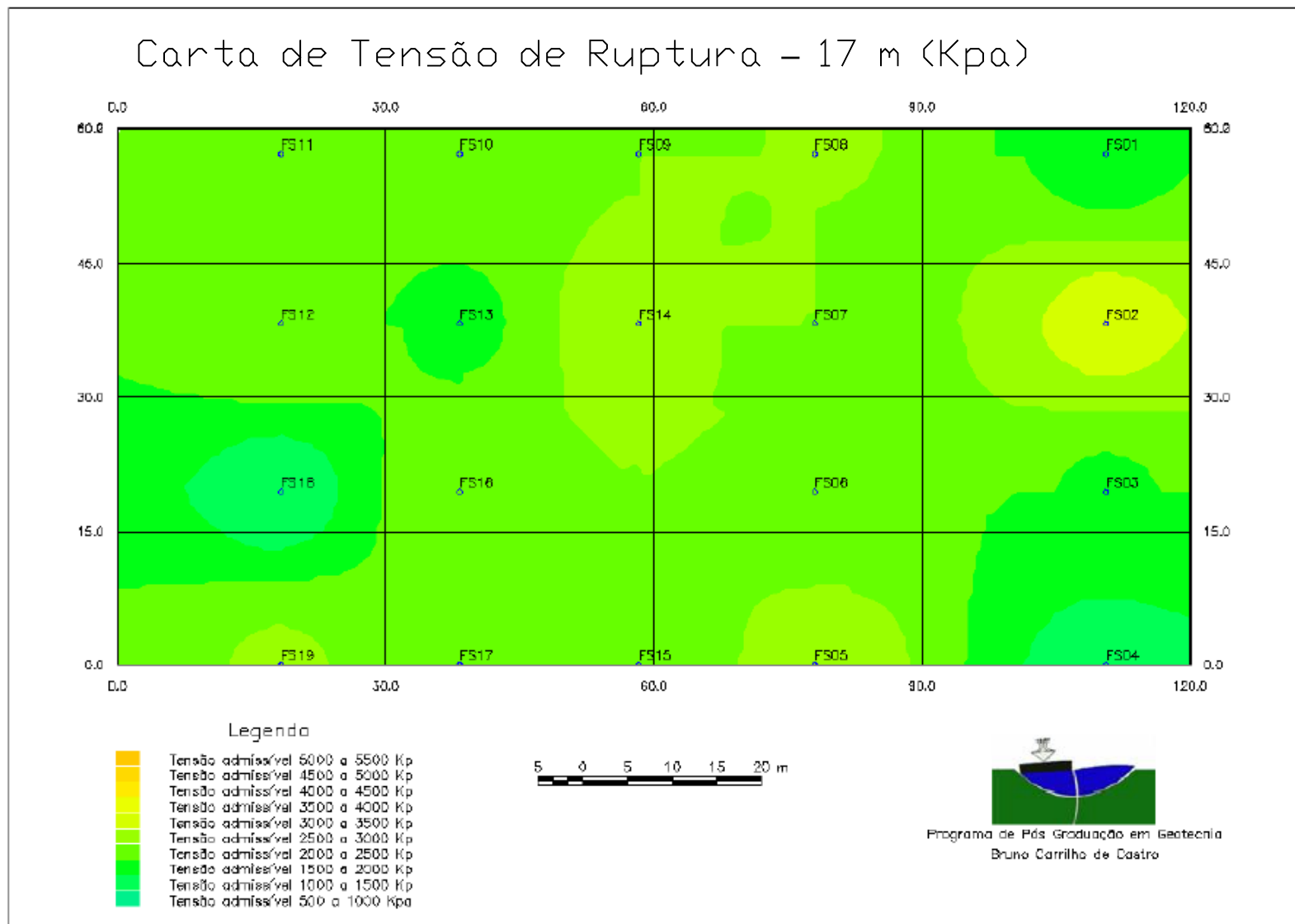


Figura 4.94 - Distribuição esperada para tensões de ruptura 17 m.

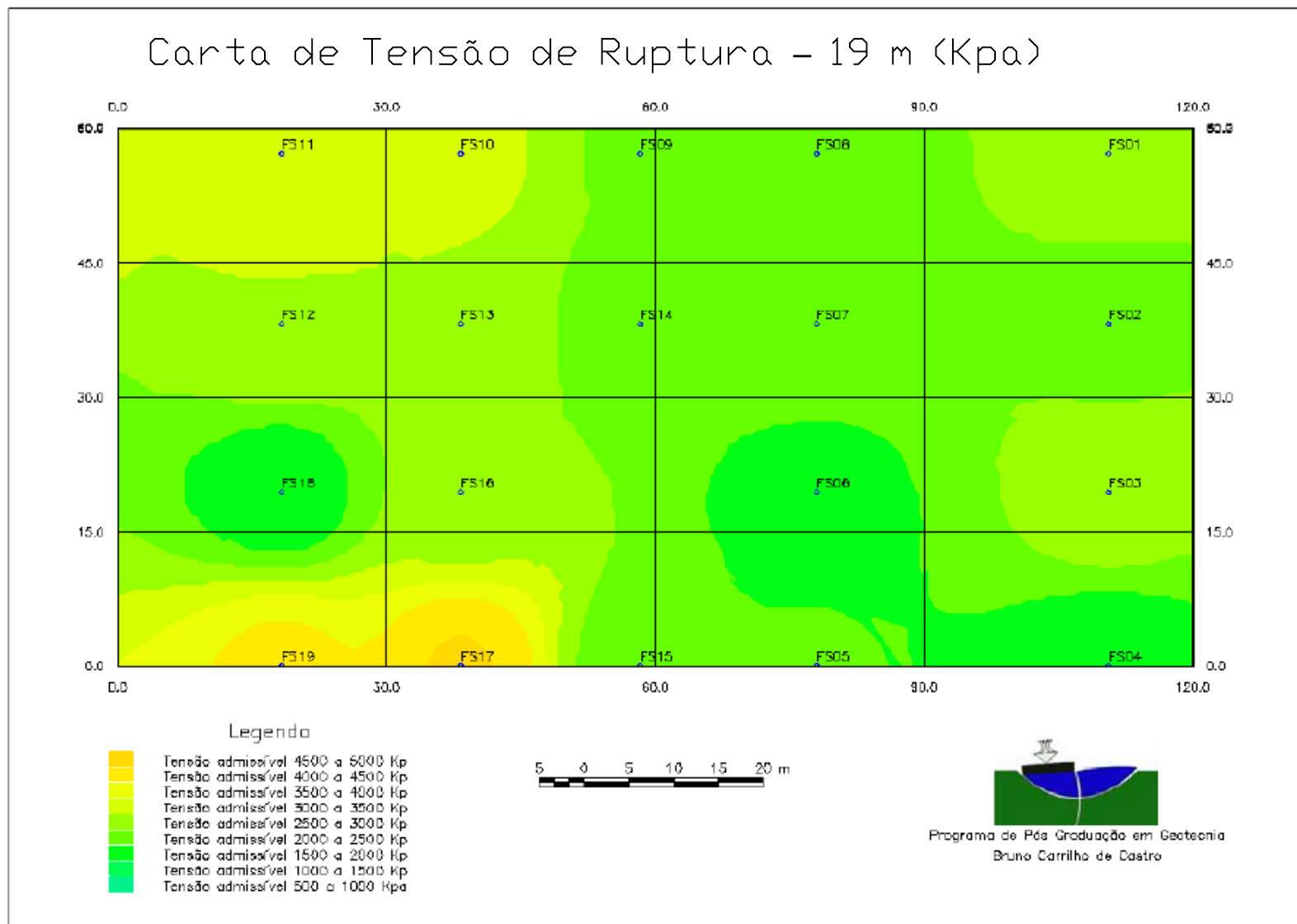


Figura 4.95 - Distribuição esperada para tensões de ruptura 19 m.

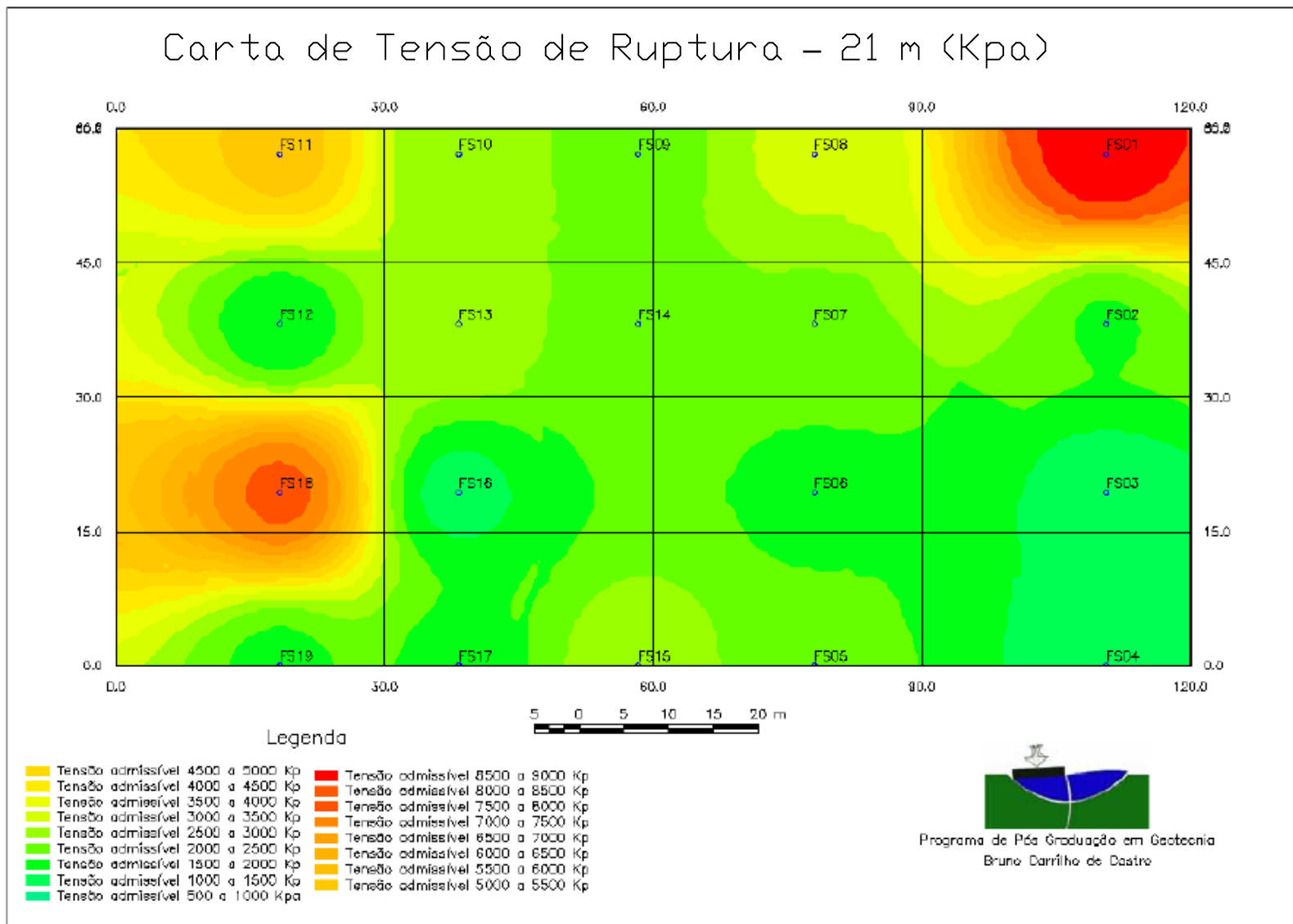


Figura 4.96 - Distribuição esperada para tensões de ruptura 21 m.

4.5- COMPARAÇÃO COM PROVAS DE CARGA

Neste item serão apresentadas comparações entre os modelos elaborados nesta dissertação e dois estudos de caso onde foram realizadas provas de carga estática. Uma vez que desconhece-se o local exato da realização das provas de cargas utilizaram-se valores médios de N_{SPT} apresentados nos itens 4.4.1.2 e 4.4.2.2.

A Tabela 4.20 apresenta os dados das estacas ensaiadas bem como os fatores de atrito lateral e tensões de ruptura calculados para o respectivo perfil de sondagem pelos modelos apresentados relacionados com as cargas de ruptura calculadas pelos mesmos modelos, de projeto e verificada com dados de prova de carga.

Tabela 4.20 - Excerto da base de dados para elaboração dos modelos – silte roxo.

	Exemplo 1	Exemplo 2
Diâmetro (m)	0,5	0,4
Comprimento (m)	8,1	19,2
N_{SPT} médio	7,0	15,0
ATL – modelo (kPa)	5,4	12,0
TRUP - modelo (kPa)	1248,9	2567,5
Carga de Ruptura - modelo (kN)	313,9	617,0
Carga de Ruptura - projeto (kN)	612,0	1176,8
Carga de Ruptura - medida (kN)	370,0	820,0

O projeto de fundações para a estaca do Exemplo 1 previa carga de ruptura da ordem de 612 kN, os modelos apresentados nesta dissertação preveem carga de ruptura de 313,9 kN e verificou-se, por meio de prova de carga, que a carga de ruptura de fato é de 370,0 kN. As análises dos números apresentados indicam que o projeto superestimou a resistência da fundação em cerca de 65 %, enquanto que os modelos aqui apresentados subestimaram a resistência em cerca de 15 %. Tal análise indica que os modelos criados poderiam ser adequadamente aplicados nesta situação, com imprecisão a favor da segurança e menores que as verificadas no projeto. Já o projeto de fundações para a estaca do Exemplo 2 previa carga de ruptura da ordem de 1177 kN, os modelos apresentados nesta dissertação preveem carga de ruptura de 617 kN e verificou-se, por meio de prova de carga, que a carga de ruptura medida é de 820 kN. As análises dos números apresentados indicam que o projeto superestimou a resistência da fundação em cerca de 44 %, enquanto que os modelos aqui apresentados subestimaram a resistência em cerca de 25 %. Tal análise indica, do mesmo modo que para o

Exemplo 1, os modelos criados poderiam ser adequadamente aplicados nesta situação, com imprecisão a favor da segurança e ainda inferior à verificada em projeto.

De acordo com os modelos criados e apresentados, na forma de cartas, nos Exemplos 1 e 2 verificou-se a adequabilidade dos mesmos em relação à realidade por meio de provas de carga realizadas nas mesmas obras.

5- CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões as quais se chegou ao final do trabalho, bem como as sugestões para pesquisas futuras.

5.1- MODELOS GERADOS

Ao final desta dissertação tem-se 16 modelos de previsão de atributos geotécnicos. Tais modelos se mostraram capazes de estimar as principais propriedades geomecânicas dos solos típicos do Distrito Federal. A Tabela 5.1 traz um resumo dos modelos de acordo com o tipo de material ao qual ela se refere.

Tabela 5.1- Resumo dos modelos desenvolvidos.

Classificação	Natureza	Equações	
Poroso Laterítico	Laboratório	$IP(\%) = -1,68 + 0,32 \times w_L$	Eq.4.1
		$\phi_s(^{\circ}) = 6,39 + 0,45 \times w_L$	Eq.4.2
		$w_L(\%) = 53,28 - 0,724 \times N_{SPT}$	Eq.4.3
		$cn \text{ (kPa)} = -17,7 + 4,5 \times Prof. + 0,18 \times N_{SPT} + 30,27 \times e + 0,71 \times w_L$	Eq.4.4
		$N_{SPT} = -18,62 + 0,38 \times Prof. - 0,96 \times w_L + 27,86 \times G_s + 0,07 \times \phi_n$	Eq.4.5
Areno - Siltoso	Laboratório	$IP(\%) = 7,15 + 0,098 \times w_L$	Eq.4.6
		$e = 21,64 - 7,261 \times G_s$	Eq.4.7
		$\phi_n(^{\circ}) = 43,86 - 11,4 \times e$	Eq.4.8
		$cn \text{ (kPa)} = 1,60 + 4,19 \times Prof.$	Eq.4.9
		$N_{SPT} = -221,90 + 0,66 \times Prof. + 0,05 \times cn + 58,22 \times e + 5,0 \times \phi_n$	Eq.4.10
Argiloso	Campo	$Trup \text{ (kPa)} = 71,73 + 24,59 \times Prof. + 139,72 \times N_{SPT}$	Eq.4.11
		$ATL \text{ (kPa)} = -0,66 - 0,20 \times Prof. + 1,09 \times N_{SPT}$	Eq.4.12
Silte Amarelo		$Trup \text{ (kPa)} = -183,85 + 22,49 \times Prof. + 97,61 \times N_{SPT}$	Eq.4.13
		$ATL \text{ (kPa)} = -2,93 - 0,09 \times Prof. + 1,08 \times N_{SPT}$	Eq.4.14
Silte - Roxo		$Trup \text{ (kPa)} = 270,73 - 27,89 \times Prof. + 153,20 \times N_{SPT}$	Eq.4.15
		$ATL \text{ (kPa)} = -15,36 + 2,54 \times Prof. + 0,68 \times N_{SPT}$	Eq.4.16

5.1.1- LABORATÓRIO – EQUAÇÕES 4.1 A 4.10

Ao longo do trabalho procurou-se focar na determinação das propriedades mecânicas dos solos a partir de dados simples como ensaios de caracterização e sondagem. Esta se revelou uma tarefa bastante árdua, especialmente para o ângulo de atrito.

Pode-se dizer, contudo, que foram encontradas várias relações entre atributos gerados em laboratório que torna possível a estimativa de seu comportamento, considerando, é claro, as limitações do uso das correlações.

Os principais parâmetros de interesse são, sem dúvida, o ângulo de atrito e a coesão. A caracterização do material provou que o ângulo de atrito apresentou uma variação entre 24° e 33°. Uma margem aceitável para estimativas preliminares de um projeto.

A coesão é um parâmetro difícil de ser determinado com a devida acurácia em laboratório, motivo pelo qual recebe, na maioria dos casos, coeficiente de segurança mais elevado que demais parâmetros. Para os solos superficiais a coesão apresentou uma média de 46 kPa com desvio padrão de aproximadamente 22 kPa. Já para os solos silto arenosos a coesão apresentou uma média de 32 kPa e um desvio padrão de 18 kPa.

Analisando os modelos pode-se afirmar que se teve muito sucesso em relacioná-la com atributos simples como a profundidade, por exemplo, ou ainda em análises mais complexas envolvendo muitas variáveis. De qualquer modo, a relação da coesão sempre atingiu bons coeficientes de correlação além de ter contribuído em grande parte para o sucesso na verificação dos modelos.

Além dos parâmetros geotécnicos é preciso ressaltar as relações encontradas entre os atributos. *A priori* tais relações podem não parecer muito atrativas, porém elas são de grande ajuda na caracterização preliminar de um solo. Ressalta-se que a boa caracterização de um dado material pode dizer muito a respeito de seu comportamento.

5.1.2- CAMPO – EQUAÇÕES 4.11 A 4.16

A capacidade de carga de estacas na maioria das vezes é prevista a partir (com uso) de equações empíricas baseadas em coeficientes igualmente empíricos para tipos de solos generalizados. Dada a infinita variedade de solos é evidente que estas previsões não são perfeitas.

Na realidade, com o aumento da realização de provas de carga, tem-se percebido cada vez mais que estes modelos, antes tidos como certos, podem proporcionar imprecisões maiores que se imaginava, e com uma frequência igualmente superior à que se esperava.

Um ponto muito positivo deste trabalho é a possibilidade de se corrigir estes modelos de previsão com a alimentação de dados de provas de carga regionais, que, obviamente, representam bem a interação solo fuste. Desse modo tem-se a possibilidade de aprimorar os modelos de previsão, dando maior confiabilidade aos projetistas e executores e ainda,

podendo um dia dar início à redução dos elevados fatores de segurança utilizados na engenharia de fundações.

5.1.3- RELAÇÃO CAMPO – LABORATÓRIO

Os ensaios de campo e de laboratório são tratados como dois objetos completamente distintos. Deve-se lembrar de que ambos são unidos pelo mesmo objetivo principal: representar o material estudado.

Desse modo, faz muito sentido relacionar estes dois objetos, de modo a facilitar o entendimento do comportamento do material em uma situação prática.

A verificação dos modelos de campo e laboratório apontou um grau de correlação bastante elevado, entre os modelos criados à partir dos dados de campo e de laboratório, que a princípio surpreendeu, porém acabou por mostrar apenas que ambos tratam do mesmo tema e que, portanto, nada mais natural apresentarem excelente grau de correlação.

5.1.4- LIMITAÇÕES

Ao se tratar de correlações deve-se ter muito cuidado. Um pesquisador deve sempre se preocupar com a utilização e o significado físico de seus resultados. Desse modo é preciso dizer que primeiramente para uma utilização prática dos modelos apresentados é preciso que os mesmos sejam alimentados com quantidades maiores de dados e que além disso passem por processos de verificação em diversas situações distintas, de modo a delimitar sua atuação.

De qualquer modo a aplicação de uma correlação, mesmo que bastante representativa, deve ater-se a levantamentos preliminares com o intuito de se levantar hipóteses e de estabelecer ideias de técnica e orçamento, nunca devendo ser utilizada para nenhum tipo de projeto.

Outro fator à se considerar é a regionalidade desses modelos, não se recomenda, em hipótese alguma, sua utilização fora da área de estudo, ou seja, para solos que não os do Distrito Federal.

5.2- SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A aplicabilidade e a representatividade de um modelo dependem da qualidade dos dados. Deste modo se sugere que os próximos trabalhos se dediquem na aquisição de informações sobre os solos da região. Anualmente são realizadas centenas de ensaios de laboratório apenas

no laboratório de geotecnia da UnB, que, na maioria dos casos, não podem ser aproveitados na confecção dos modelos por não apresentarem o local e a profundidade de coleta das amostras ou ainda informações mais simples como a cor da amostra.

Outra fonte muito valiosa de informações são os ensaios de campo, especialmente as provas de carga. Os modelos criados a partir deste tipo de informação se mostraram muito interessantes.

À medida que o banco de dados seja aprimorado pode-se partir para criação de modelos com alto grau de representatividade que possam prever a capacidade de carga a diferentes níveis de profundidade, ou ainda o fator de segurança de taludes verticais para diversas profundidades de escavação por exemplo.

6- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abel, L. S. (2002). Caracterização Geológico-Geotécnica do Solo de Laulane para Fundações de Edifícios. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-087A/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 172p.
- ABNT (1992). Norma Técnica NBR 12131. Estacas – Prova de Carga Estática. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, Rio de Janeiro, RJ. 4 p.
- Alves, P. C. (2009). Cartografia Geotécnica para Obras subterrâneas: Condições de Construções de Garagens Subterrâneas e Metrô no Plano Piloto de Brasília. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM 178/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 168 p.
- Araki, M. S. (1997). Aspectos Relativos às Propriedades dos Solos Porosos Colapsíveis do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Publicação G. DM-040A/97, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 172p.
- Assis, A.P. *et al.* (2002). Métodos Estatísticos e Probabilísticos em Geotecnia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Bizzi, L. A., Shobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H. (2003) Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: Textos Mapas & SIG – Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil.
- Camapum de Carvalho, J.; Silva, C. M.; Paolucci, H. V. N. ; González, Y. V.; Valencia, I. A. L. (2008). Considerações sobre a análise dos resultados de provas de. In: VI Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia SEFE VI, São Paulo. v.1. p. 355-369.
- Cardoso, F. B. (2002). Propriedades e Comportamento Mecânico de solos do Planalto Central Brasileiro. Tese de Doutorado, Publicação D. TD 009A/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 357 p.
- Décourt, L. (1996) Análise e projetos de fundações profundas – Estacas. In: Hachich, W.; Falconi, F.F.; Saes, J.L.; Frota, R.G.Q.; Carvalho, C.S; Niyama, S. Fundações teoria e prática. São Paulo: Pini. p. 265-301.
- Faria, A. (1995). Programa Cartas de Síntese e Estudos de Integração Geológica; mapa geológico. Escala 1:100.000. Distrito Federal. Elab. Por Álvaro de Faria; colab. De Edi Mendes Guimarães e Almir Neves Figueiredo. Brasília, DNPM/UNB.
- Freitas-Silva, F. H.; Campos, J. E. G. (1996). Geologia do Parque Nacional de Brasília. Boletim de Geociências do Centro-Oeste, Brasília, v. 18, n. 1/2, p. 32-43.

- Oliveira, M. G. (1996). Mapeamento Geotécnico da Asa Sul – Brasília – DF. Dissertação de Mestrado, Publicação G. DM-036A/96, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 145p.
- Paranhos, H. S. (1998). Caracterização Geotécnica dos Principais Grupos de Solos do Mapa Pedológico do Distrito Federal (escala 1:100.000): Estudo na Área de Dinamização Urbana, entre Samambaia e Gama. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM 051A/98, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 133 p.
- Raspa, G. *et al.* (2008). Geotechnical Characterization of the Upper Pleistocene-Holocene Alluvial Deposits of Roma (Italy) by Means of Multivariate Geostatistics: Cross Validation results. *Engineering Geology* n°101, 251-268p.
- Reatto *et. al.* (2004). Mapa pedológico digital – SIG atualizado do Distrito Federal escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo – Planaltina: Embrapa Cerrados.
- Roque, W. V. (2006). Mapeamento Geoambiental da Área Urbana de Manaus – AM. Dissertação de Mestrado, Publicação G. DM 145/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 162 p.
- Schnaid, F. (2000). Ensaio de Campo e Suas Aplicações à Engenharia de Fundações. Fernando Schnaid – São Paulo: Oficina de Textos 189 p.
- Silva, C. A. R. (2007). Perfil Geológico-Geotécnico do Subsolo ao Longo do Traçado do Metrô de Goiânia. Publicação G.DM-160/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 205p.
- Silva, C. P. L. (2007). Cartografia Geotécnica de Grande Escala: Estudo de Caso Brasília - Área Tombada pela UNESCO. Dissertação de Mestrado, publicação n° G. DM-153/07. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 121 p.
- Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data model. *Camara G, Souza RCM, Freitas U. M., Garrido J Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.
- Vargas, M. (1977) Introdução à Mecânica dos Solos. São Paulo: Ed. McGraw-Hill do Brasil - Ed. Da Universidade de São Paulo, 509 p.

7- APÊNDICES

BASE DE DADOS PARA CONFECÇÃO DOS MODELOS DE LABORATÓRIO

ID	Classificação	Prof. (m)	N _{SPT}	Argila (%)	Silte (%)	e	w _L (%)	IP (%)	G _s	cn (kPa)	φ _n (°)	cs (kPa)	φ _s (°)
6	Argila	3	12							52	21	17	25
	Silte	6	6							21	26	9	29
9	Silte	3	2	34,3	31,2	2	42	10	2,71	24	21	8	30
	Argila	6	4	68,5	14,5	1,3	46	13	2,7	33	24	29	25
	Silte	9	13	43,1	23,6	1,3	38	8	2,81	27	30	7	32
	Argila	12	25	38,5	30,6	1,1	36	9	2,81	31	38	18	25
14	Argila	3	2	43	26,4		50	15	2,8	26,5	26	0	32
	Argila	6	5	46,5	21,5		54	16	2,78	32	30	15	33
	Areia	9	8	29	8,8		46	11	2,78	48	36	37,5	29
	Silte	12	7	39,9	34,1		46	14	2,8	41	30	32	32
17a	Argila	5	2	38,5	14,3	1,3			2,76	26,9	29	0	28
	Argila	10	6	44,2	23,1	1,1			2,76	37,4	28	7,8	30
	Argila	15	15	28,6	21,1	1,2			2,73	42,6	29	5,6	35
	Argila	20	24	26,2	19,4	1,1			2,74	84,3	29	43	29
17b	Argila	5	2	52,8	27,3	1,4			2,77	33	40	0	32
	Argila	10	6	44,4	20,6	1,1			2,77	39,5	28	20,8	30
	Argila	15	15	57,6	15,8	1,3			2,79	72,5	28	45,2	29
	Argila	20	24	27,2	15,7	1,3			2,8	97,4	26	19,4	33
21	Argila	5	4	81,3	14,2	1,3			2,68	35	25		
	Argila	10	16	84	11	1,4			2,74	79	34		
24	Silte	3	2	52,7	13,3		48	11	2,79	0	33	7	36
	Silte	10	8	42,8	20,4		54	11	2,81	34	33	17	36
25	Areia	2	7	30,2	13	1,4	32	12	2,76				
27	Argila	4	3	74,4	16,4	2	52	14	2,76	19	25	11	28
	Argila	6	2	74,4	15,2	1,3	55	16	2,76	38	29	6	31
	Argila	9	10	46,3	26,7	1,4	43	14	2,76	29	29	25	23
	Silte	12	6	35,7	54,3	1,3	49	15	2,77	60	28	17	25
28	Argila	3	2	15,9	73,6	2,1			2,72	51	23	0	29
	Argila	7	3	32,9	66,1	1,6			2,69	55	23	0	31

BASE DE DADOS PARA CONFECÇÃO DOS MODELOS DE CAMPO – ARGILA

Prof (m)	N _{SPT}	Trup (kPa)	ATL (kPa)
1	0	0	0
2	3	406,1634	3,859616
3	2	270,7756	2,573078
4	4	541,5512	5,146155
5	6	812,3268	7,719233
6	8	1083,102	10,29231
7	5	676,939	6,432694
8	12	1624,654	15,43847
9	22	2978,532	28,30385
1	0	0	0
2	3	413,8029	3,921868
3	2	275,8686	2,614579
4	4	551,7371	5,229158
5	6	827,6057	7,843737
6	8	1103,474	10,45832
7	5	689,6714	6,536447
8	12	1655,211	15,68747
9	22	3034,554	28,76037
1	2	654,3037	1,929151
2	2	654,3037	1,929151
3	2	654,3037	1,929151
4	2	654,3037	1,929151
5	2	654,3037	1,929151
6	5	1635,759	4,822877
7	9	2944,366	8,681179
8	9	2944,366	8,681179
1	0	0	0
2	3	458,5944	3,280384
3	20	3057,296	21,86923
4	25	3821,62	27,33653
5	15	2292,972	16,40192
6	29	4433,08	31,71038
7	30	4585,944	32,80384
8	27	4127,35	29,52345
9	17	2598,702	18,58884
10	16	2445,837	17,49538
11	7	1070,054	7,654229
12	7	1070,054	7,654229
1	10	1326,85	8,441333
2	10	1326,85	8,441333
3	14	1857,589	11,81787

BASE DE DADOS PARA CONFECÇÃO DOS MODELOS DE LABORATÓRIO – SILTE AMARELO

Prof (m)	N _{SPT}	Trup (kPa)	ATL (kPa)
10	15	1476,958	15,78934
11	17	1673,886	17,89459
12	21	2067,741	22,10508
13	29	2855,452	30,52606
14	25	2461,596	26,31557
10	15	1504,738	16,04401
11	17	1705,369	18,18321
12	21	2106,633	22,46161
13	29	2909,159	31,01841
14	25	2507,896	26,74001
13	7	778,2209	6,262551
14	9	1000,57	8,051851
15	14	1556,442	12,5251
16	12	1334,093	10,7358
17	18	2001,139	16,1037
18	34	3779,93	30,4181
4	14	1350,974	9,669163
5	7	675,4871	4,834582
6	9	868,4834	6,215891
7	14	1350,974	9,669163

BASE DE DADOS PARA CONFECÇÃO DOS MODELOS DE LABORATÓRIO – SILTE ROXO

Prof (m)	N _{SPT}	Trup (kPa)	ATL (kPa)
15	31	4769,343	50,98641
16	31	4769,343	50,98641
17	29	4461,644	47,69697
18	28	4307,794	46,05224
19	30	4615,493	49,34169
20	34	5230,892	55,92058
15	31	4859,049	51,80877
16	31	4275,963	51,80877
17	29	4000,094	48,46627
18	28	3862,16	46,79502
19	30	4138,029	50,13752
20	34	4689,766	56,82252
21	43	5931,174	71,86378
8	11	1658,562	11,87062
9	18	2714,011	19,42466
10	21	3166,346	22,6621
11	28	4221,794	30,21614
12	32	4824,908	34,53273
13	38	5729,578	41,00761
14	49	7388,14	52,87824
15	57	8594,367	61,51142
16	57	8594,367	61,51142

