



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IGC

**Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de
Sistemas Ambientais**



LEILSON ALVES DOS SANTOS

**MODELAGEM GEOGRÁFICA PARA CARACTERIZAÇÃO E PREDIÇÃO DE
SOLOS MOLES DIRECIONADA PARA PROJETOS DE INFRAESTRUTURA**

BELO HORIZONTE – MG

Instituto de Geociências da UFMG

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IGC

Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de
Sistemas Ambientais

LEILSON ALVES DOS SANTOS

**MODELAGEM GEOGRÁFICA PARA CARACTERIZAÇÃO E PREDIÇÃO DE
SOLOS MOLES DIRECIONADA PARA PROJETOS DE INFRAESTRUTURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem em Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto de Geociências – como pré-requisito para obtenção do título de mestre em Analista e Modelador de Sistemas Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Affonso Albuquerque de Nóbrega

Co-orientadora: Profa. Dra. Adriana Monteiro da Costa

Belo Horizonte – MG
Instituto de Geociências da UFMG

2018

S237m Santos, Leilson Alves dos.
2018 Modelagem geográfica para caracterização e predição de solos moles direcionada para projetos de infraestrutura [manuscrito] / Leilson Alves dos Santos. – 2018.
90 f., enc.: il. (principalmente color.)
Orientador: Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega.
Coorientadora: Adriana Monteiro da Costa.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2018.
Bibliografia: f. 73-79.
Inclui anexos.
1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Ciência do solo – Teses. 3. Mecânica do solo – Teses. 4. Geoprocessamento – Teses. I. Nóbrega, Rodrigo Affonso de Albuquerque. II. Costa, Adriana Monteiro da. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. IV. Título.

CDU: 911.2:519.6

Ficha catalográfica elaborada por Graciane A. de Paula – CRB6 3404



FOLHA DE APROVAÇÃO

**Modelagem geográfica para caracterização e predição de solos moles
direcionada para projetos de infraestrutura**

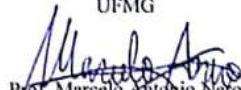
LEILSON ALVES DOS SANTOS

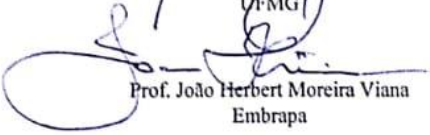
Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Aprovada em 07 de julho de 2018, pela banca constituída pelos membros:


Prof. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nobrega - Orientador
UFMG


Profa. Adriana Monteiro da Costa - Coorientadora
UFMG


Prof. Marcelo Antonio Nero
UFMG


Prof. João Herbert Moreira Viana
Embrapa

Belo Horizonte, 07 de julho de 2018.

Dedico

Às mulheres da minha vida: Carmozina Alves dos Santos (mãe), Raimunda de Jesus Pereira Brito (Dindinha) e Célia Cristina de Jesus Brito (anjo da guarda), por todo amor e compreensão.

Epígrafe

“Consulte não a seus medos, mas a suas esperanças e sonhos. Pense não sobre suas frustrações, mas sobre seu potencial não usado. Preocupe-se não com o que você tentou e falhou, mas com aquilo que ainda é possível a você fazer”.

São João XXIII

AGRADECIMENTOS

A realização de um sonho é motivo de muita alegria para todos aqueles que alcançam seus objetivos. Neste momento, realizo mais um sonho, pois subo mais alguns degraus na escada da vida acadêmica, profissional e pessoal. Por isso, faço aqui o uso das palavras de Santa Madre Teresa de Calcutá: “Não importam as circunstâncias e não importam as adversidades, por mais difícil que seja eu vou seguir em frente e vou reunir as forças para que me transforme cada vez mais na pessoa que eu decidir ser”.

Para que me torne essa pessoa, ao longo dessa jornada me apoiem e fui encorajado por uma legião de anjos que me acompanharam até aqui e que continuarão ao meu lado, bem como aparecerão outros ao longo do caminho. Mas, neste momento, é hora de destacar alguns desses seres iluminados.

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me dado a dádiva da vida e forças para seguir o caminho, e à Santíssima Virgem Maria, sob o título de Nossa Senhora de Fátima, por ser minha guardiã.

À minha família, que sempre me apoiou e encorajou a seguir o caminho que desejei, em especial, à minha mãe Carmozina Alves, à minha madrinha Raimunda Brito, à Célia Cristina e aos meus irmãos e irmãs José Ângelo, Francisco das Chagas, Fernanda Patrícia, Jaqueline, Leidiana e Otávio Augusto, bem como aos meus queridos e amados sobrinhos. Ao Carlos Henrique e à Teresa Cristina (irmãos de coração), e ao Ribeiro Neto (primo de coração). Muito obrigado!

Agradeço aos meus orientadores por toda paciência e conhecimentos compartilhados, Prof. Dr. Rodrigo Affonso Albuquerque de Nóbrega e Profa. Dra. Adriana Monteiro da Costa, pois sem eles este trabalho não teria sido possível.

Aos professores da UFPI que foram essenciais para que eu chegasse até aqui, em especial à Profa. Dra. Iracilde Maria de Moura Fé Lima. Ao CEAD, em especial ao Prof. Me. Cícero Rodrigues e ao Prof. Dr. Raimundo Wilson, pela compreensão nos momentos de ausência.

Aos meus amigos de longa data, José Roberto, Francisca Elenice, Lasthenia, Rafaela Leal, Antonia Gomes, Geovaniele, Gegêane, Nathassia, Jessyca Benchimol, Elayne Dias, Renato Alves, Gustavo Alves, Hikaro Kayo, Sarinha Cardoso, Darlan Oliveira, Alan Milhomem. Agradeço também à Tâmara

Milhomem por ter sido um suporte na estadia em Belo Horizonte, bem como aos queridos amigos mineiros Gustavo Augusto, Leonardo Rosado, Arnon, Mariana, Nahyara, Leonardo Guarnieri, Jadir Brito, Nathan Araújo, Fabrício Antônio e Willian Buzim pelas nossas conversas, que foram fundamentais durante essa jornada. Vocês são essenciais em minha vida.

Aos amigos Roneide Sousa, Igor Bahury, Nathalya Soares, Marco Aurélio Lira, Francisca Rocha (Tchesca) e Susana (Susy). Vocês são demais!

Aos amigos e companheiros de pesquisa Taís Mayara, Aline Aparecida e Lorrán André. Quando crescer, eu quero ser como vocês!

A todos os meus amigos clientes da agência de viagens Leylson's Tour. Vocês me motivam a continuar essa jornada. Ainda temos muito a viajar!

Aos colegas do Grupo de Pós-Graduação no Facebook, que foram fundamentais nos momentos mais tensos da escrita, principalmente aqueles sem inspiração. Obrigado pelo apoio!

Ao Grupo de Oração Universitário – GOU FAFICH. Como é bom saber que na universidade também podemos vivenciar Deus!

Aos meus alunos, que me impulsionam a querer cada vez mais adquirir conhecimento. Essa conquista também de vocês!

Aos meus colegas de mestrado, em especial a José Nunes, Clara Nina, Max Paulo, Lucas Santos, Fernanda Pizani, Thaís Aparecida, Roberta Parreira, Laura e Dayane. Ao Hugo Henrique e à Carol Thânia, que me ajudaram na preparação da base de dados da pesquisa. Vocês foram um dos pilares que me sustentaram nessa jornada!

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, e à Pamela, nossa secretária, que desempenha com muito louvor a sua função.

À UFMG e ao Instituto de Geociências, por disponibilizar toda infraestrutura necessária ao desenvolvimento da pesquisa com laboratórios e demais serviços. Agradeço, ainda, à VALEC e ao Tribunal de Contas da União – TCU pela concessão das informações sobre ocorrências de solos moles.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

RESUMO

O conhecimento das características do solo é imprescindível para o planejamento territorial. Os depósitos moles, ou solos moles, como são tradicionalmente denominados, correspondem a solos sedimentares com baixa resistência à penetração, em que a fração argila imprime as características de solo. Embora os solos possuam diversas características que podem levar à sua classificação como sendo mole, na prática estes são conhecimentos técnicos restritos aos campos da Geotecnia. Os projetos de infraestrutura, em especial de transporte como rodovias e ferrovias tradicionalmente são os grandes demandadores de informações sobre ocorrência de solos moles, seja pela abrangência geográfica das vias ou pela necessidade de contar com solos apropriados para receber a infraestrutura viária e o material rodante. Tradicionalmente, a engenharia de transportes apoia-se na geotecnia para as análises pontuais em áreas de solo mole que, embora onerosas, são vitais. Nesse sentido, este trabalho reporta a construção de um modelo explorando uma chave classificatória entre as propriedades pedológicas e geotécnicas dos solos, que resultou em um mapa preditivo do potencial de ocorrência de solos moles para o Brasil. Embora desenvolvido em escala 1:5.000.000 (EMBRAPA), o modelo foi testado em mapas pedológicos com escala 1:250.000 (EMATER) e validado com pontos de campo em trecho da Ferrovia Norte-Sul no Estado de Goiás. O modelo proposto mostrou-se robusto, uma vez que pode ser aplicado em escalas locais e regionais. Identificou-se, ainda, que os solos com maior potencial para ocorrência de solos moles são aqueles com predominância de minerais 2:1 expansivos, geralmente mal drenados e rasos como os neossolos, cambissolos e gleissolos. Constatou-se, ainda, que no Brasil o potencial de ocorrência de solos moles gira em torno de 29% no território nacional. É importante que mais estudos dessa natureza sejam realizados, sobretudo, no interior no país onde há um enorme vazio de dados sobre esse tipo material.

Palavras-chave: modelo de predição de solos; transporte; geoprocessamento; planejamento.

ABSTRACT

Knowledge of soil characteristics is crucial for territorial planning. The soft deposits, traditionally known as soft soils, refer to sedimentary soil with low resistance to penetration, in which clay provides the characteristics of the soil. Although the soil may present different characteristics that might lead to its rating as “soft”, these are technical issues restricted to the fields of Geotechnical Studies. Infrastructure projects, specially transport ones, such as freeways and railways, are traditionally demanding on information about soft soil occurrence, be it by the geographical coverage of the roads or by the need to count on appropriate soil to receive the road infrastructure and undercarriages. Traditionally, the transport engineering is based on Geotechniques for specific analysis in soft soil areas, which are vital, albeit costly. Therefore, this paper presents a model exploring an indexing key to classify between pedological and geotechnical properties of soils, which resulted in a predictive map of the occurrence of soft soils in Brazil. Although developed on a 1:5,000,000 scale (EMBRAPA), the model was tested on pedological maps with 1: 250,000 scale (EMATER) and validated by field analysis on a section of the North-South railway in the state of Goiás. The presented model proved sound, as it can be applied in larger and regional scales. It was also identified that the soils which show a higher potential of soft soil are those with a predominance of expansive 2:1 minerals, usually poorly drained and shallow such as cambisol, gleysol and neosol. It was observed, also, that the potential of occurrence of soft soil in Brazil is around 29% of the territory. Further studies of this nature are important, especially in the central area of the country, of which there is a considerable lack of data on this material.

Key-words: soil prediction model; transportation; geoprocessing; planning

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA DO ESTUDO.....	20
3. OS DESAFIOS PARA O PLANEJAMENTO DE CORREDORES DE TRANSPORTE.....	21
3.1 Ferrovias: uma alternativa para o problema do escoamento da produção agrícola no Brasil	24
3.2 Ferrovia Norte-Sul.....	26
3.3 Geoprocessamento aplicado ao planejamento de infraestrutura de transportes	27
3.4. Modelagem geográfica para estudos de viabilidade	28
4. MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DE SOLO	31
4.1. Solos: definições e conceitos	33
4.1.1 Definição de solos pela Pedologia	34
4.1.2. Definição Geotécnica de solos	38
4.2. Solos moles: conceituação, constituição e dinâmica	40
4.3 Obras sobre solos moles: estudos de caso	46
5. MATERIAIS E MÉTODOS	56
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
7. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS.....	71
REFERÊNCIAS.....	73
ANEXOS	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Trecho de atoleiro da BR-163 conhecido como Cintura Fina.....	21
Figura 2: Caminhões carregados atolados em trecho da Rodovia BR 163.....	22
Figura 3: Espacialização das principais ferrovias construídas e em projetos de construção no Brasil.....	26
Figura 4: Mosaico de trecho da ferrovia FNS com ocorrência de solos moles no município de São Simão – GO.....	27
Figura 5: Fluxograma das etapas de desenvolvimento da pesquisa.....	57
Figura 6: Distribuição espacial de estudos sobre depósitos de solos moles no Brasil.	61
Figura 7: Chave de Classificação da Potencialidade de Ocorrência de Solo Moles no Brasil.	62
Figura 8: Mapa Potencialidade de Ocorrência de Solos Moles no Brasil.	64
Figura 9: Potencial de ocorrência de solos moles em um trecho da Ferrovia Norte-Sul no Estado de Goiás – escala de 1:5.000.000.....	67
Figura 10: Potencial de ocorrência de solos moles em um trecho da Ferrovia Norte-Sul entre os municípios de São Simão e Quirinópolis – Estado de Goiás, na escala de 1:250.000	68
Figura 11: Correlação das classes previstas	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Correspondência entre a classificação proposta por Salomão e Antunes (1998) para geotecnia e a classificação destes solos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.	39
Quadro 2: Classificação da sensibilidade de argila.	45
Quadro 3: Características Geotécnicas de solos moles no Brasil.	51
Quadro 4: Características de solos moles (Soft Soils) em algumas partes do mundo.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação da compactidade da areia com relação ao SPT.....	41
Tabela 2: Classificação da consistência da argila com relação ao STP.....	41
Tabela 3: Análise Granulométrica dos solos localizados na área Gleba.	48
Tabela 4: Porcentagem das classes previstas de solos moles para o Brasil.	65
Tabela 5: Participação dos solos na previsão das áreas de solos <i>moles</i>	65
Tabela 6: Porcentagem das classes previstas de solos moles para Goiás.	69
Tabela 7: Correlação entre as classes de solos moles previstas e validação de campo.	69

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres.
CNT	Centro Nacional de Transporte.
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de transporte.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
FNS	Ferrovias Norte-Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de Consistência.
IP	Índice de Plasticidade.
LL	Límite de Liquidez.
MDT	Modelo Digital de Terreno.
RECESS	Research Centre for Soft Soils. Centro de Pesquisas de Solos Moles
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIG	Sistema de Informação Geográfica.
SPT	Standard Penetration Test. Ensaio de Penetração Padrão
TCU	Tribunal de Contas da União.
VALEC	Engenharia, Construções e Ferrovias

1. INTRODUÇÃO

Os conhecimentos sobre solos têm despertado o interesse da comunidade acadêmica, de órgãos públicos e privados, bem como da sociedade civil ao longo dos anos, pois este elemento é fundamental para o planejamento urbano, para as atividades agropecuárias e para indústrias de diversos seguimentos, sendo, assim, de suma importância para desenvolvimento econômico (VERHEYE, 2009; HAI, 2007). Ao longo do tempo, o homem procurou agrupar os solos em classes/categorias de acordo com suas similaridades e conseqüente potencialidade, sobretudo, para a produção de alimentos. Entretanto, com o aumento da densidade populacional que reflete diretamente no processo acelerado de urbanização, o solo ganha mais destaque, especialmente no aspecto econômico, passando a ser também mais utilizado como fonte de matéria-prima para construção civil (BARREIROS, 1998). O planejamento da ocupação do terreno, seja para o cultivo ou para a construção de infraestruturas como rodovias e ferrovias, recorre à análise de solos com características viáveis ao uso. Neste contexto, o mapeamento pedológico emerge como ferramenta fundamental para a organização do espaço, pois a partir das informações nele contidas é possível planejar o tipo de uso e ocupação da terra, bem como destinar áreas que precisam ser preservadas e/ou destinadas a usos restritos (LENORMAND et al., 2015; BOSCH, 2016).

Em países economicamente desenvolvidos, geralmente, é possível a obtenção de ampla e detalhada base de dados sobre os tipos de solos dos seus territórios. Contudo, por ser um serviço oneroso, o mesmo não ocorre na mesma frequência em países com menor poder econômico. No Brasil, por exemplo, poucos investimentos têm sido realizados em novas campanhas de mapeamento, o que configura o reflexo da ausência de políticas públicas destinadas a este fim, associada aos altos custos, tempo de execução e da ausência de mão de obra especializada para tal (FLACH; CORRÊA, 2017).

Grande parte dos mapas de solos existentes para o território brasileiro, como a base cartográfica de solos atualizada pela Embrapa (2012a), correspondem à escala 1:5.000.000, apresentando pouco detalhamento para aplicações pontuais. Contudo, em 2012 foi disponibilizado um novo mapeamento de solos em escala 1:250.000 (EMBRAPA, 2012b) que, apesar de cobrir um

vasto território, está limitado à Amazônia Legal. De fato, poucos são os mapeamentos mais detalhados de solos e, quando da sua existência, estão relacionados projetos particulares ou realizados por centros de pesquisas e universidades (CARVALHO, NUNES e ANTUNES, 2013).

A grande relevância dos levantamentos e mapeamentos detalhados consiste na identificação de características e propriedades dos solos que são de extrema importância para o planejamento adequado do seu uso. O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS – (SANTOS et al., 2013; FLACH, CORRÊA, 2017) é composto por 13 classes de solos de acordo com a ordem. Cada uma destas classes apresenta características bem distintas que definem o seu comportamento, as suas potencialidades e as suas fragilidades. O conhecimento das características dos solos e, portanto, das suas aptidões e limitações, representa uma poderosa ferramenta que, se bem utilizada em prol da gestão pública, poderá solucionar vários problemas decorrentes do uso inadequado dos solos e/ou auxiliar a definição das melhores áreas para o desenvolvimento de projetos, como os de infraestrutura.

A abertura de estradas é um dos primeiros indicadores do desenvolvimento econômico de uma região, e por essência, a engenharia se apoia em métricas da geotecnia que parametrizam as condicionantes utilizadas no projeto das rodovias e ferrovias. O conhecimento sobre o solo é, dentre outros, um dos elementos mais importantes para o planejamento e a construção da superestrutura viária, uma vez que identifica os terrenos passíveis de receber a infraestrutura viária, além de identificar fontes de matéria-prima para o empreendimento (SANTOS, PARREIRA, 2015).

A Geotecnia é o ramo da Engenharia Civil que se dedica aos estudos sobre o comportamento dos terrenos e seus materiais, ou seja, ela é a responsável para identificar as propriedades físicas e mecânicas do terreno que irá receber uma obra de infraestrutura (MIGUEL; PENESE, 2004). Também por essa razão, os estudos geotécnicos são de fundamental importância para construção de estradas (rodovias e ferrovias), uma vez que a identificação das características da mecânica do solo irá subsidiar a instalação da futura estrutura.

Embora a pedologia e a geotecnia sejam áreas com grande sobreposição, na prática há uma lacuna quanto ao inter-relacionamento de seus conceitos. Segundo Antunes et al. (2013), trabalhos de mapeamentos de solos

desenvolvidos dentro do contexto pedológico propiciam informações relevantes de caráter geológico-geotécnico. Porém, possivelmente em virtude do grau de especialização e por não envolverem dados que permitam uma adequada inferência de condições prováveis do subsolo, tais informações podem não ser plenamente entendidas na prática da engenharia.

Segundo Nóbrega et al. (2016), outro aspecto a ser considerado em um projeto de planejamento de transporte, e que antecede a construção da infraestrutura em si, em um estudo de demanda, é o Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA), que é caracterizado por levantamentos e análises de dados do contexto geográfico da área ou do corredor em estudo, incluindo dados referentes ao solo.

Desta forma, a identificação dos solos definidos como “Solos Moles” é de grande relevância em projetos relacionados ao transporte, tanto em sua fase de planejamento, como na construção. A espacialização das informações sobre a composição destes solos constitui-se numa ferramenta importante que pode contemplar as necessidades dos planejadores e gestores de transportes quanto ao detalhamento de áreas com presença de solos moles e das estratégias de mitigação dos seus impactos na infraestrutura viária. Para tal, tornam-se necessárias a caracterização dos solos moles, a correlação de suas características com as classes de solos do SiBCS e a espacialização destes no território brasileiro, a fim de apontar as áreas de maior potencialidade de sua ocorrência.

Esta dissertação está estruturada em uma parte introdutória e em mais cinco partes: na primeira são apresentados os objetivos e a justificativa que norteiam esta pesquisa. Na segunda é apresentada a discussão teórica que embasa este trabalho. Nesta, discorremos sobre a importância do planejamento adequado dos corredores de transporte para o desenvolvimento de uma região, bem como da relevância das ferramentas do geoprocessamento para os estudos de planejamento para obras de infraestrutura, principalmente, de estradas. Discorremos, também, sobre modelos de previsão. São apresentados, ainda, os conceitos de solos definidos pela pedologia e geotecnia, criando um elo entre essas áreas do conhecimento a respeito desses conceitos. Na terceira parte constam os caminhos percorridos nesta pesquisa, ou seja, as etapas de desenvolvimento. A quarta parte traz os resultados e discussões (mapas,

tabelas). E por fim são tecidas as considerações finais e algumas recomendações, bem como as referências que embasaram todo o nosso trabalho.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

O trabalho tem como objetivo geral propor um modelo capaz de ilustrar o potencial de áreas de predição de ocorrência de solos moles para apoiar o processo de tomada de decisão quanto à definição de corredores de transporte em escala regional.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Analisar o conceito de solos moles na geotecnia e correlacionar com as classes de solos do SiBCS;
- Elencar as variáveis ambientais condicionantes para a formação de solos moles;
- Integrar o mapa de solos moles elaborados ao traçado ou ao estudo dos corredores de viabilidade técnica, econômica e ambiental de projetos ferroviários atuais (Ferrovia Norte Sul).

Esta proposta cobre uma lacuna presente no planejamento de corredores de transporte e obras de infraestrutura em escala macrorregional. A ideia central deste trabalho surgiu em 2015, a partir de conversas com membros da Secretaria de Fiscalização de Infraestrutura Portuária, Hídrica e Ferroviária do Tribunal de Contas da União -TCU, e de engenheiros ferroviários da VALEC Engenharia, Ferrovias e Construções S.A. Os auditores do TCU relataram a dificuldade na tomada de decisão devido à ausência de cartas e informações geográficas sobre solos moles para obras de engenharia dessa magnitude, e por isso incentivaram o desenvolvimento desta pesquisa.

Embora o tema central “mapeamento de solos moles” não seja recente na academia, não foram observados estudos e modelos que possibilitem estimar o potencial de ocorrência desses em escalas macrorregionais para apoiar a definição de estudos de viabilidade de corredores de transporte. A proposta é criar, validar e disponibilizar um modelo que possa ser replicado pela comunidade. O modelo proposto conta com *inputs* conceituais sobre as variáveis correlacionadas à presença de solos moles em escalas micro e macrorregionais.

3. OS DESAFIOS PARA O PLANEJAMENTO DE CORREDORES DE TRANSPORTE

O crescimento populacional e econômico proporcionou um aumento significativo das relações entre as cidades, especialmente através do trânsito de pessoas e de mercadorias, o que leva à necessidade de ampliação da rede de transportes (SENNÁ, 2014). Essa expansão proporciona desenvolvimento, mas também traz inúmeros problemas sociais e econômicos como, por exemplo, o aumento de acidentes nas margens das rodovias e ferrovias, maior número de automóveis circulando, poluição atmosférica, além de outro fator importante a ser destacado: o aumento do desmatamento (LENORMAND et al., 2015).

As estradas brasileiras tornam-se – em sua grande maioria mal conservadas – obstáculos para o desenvolvimento e integração viária nacional e, como consequência, têm-se a redução na capacidade de crescimento econômico (Figura 1 e Figura 2).

Figura 1: Trecho de atoleiro da BR-163 conhecido como Cintura Fina.



Fonte: Portal G1 (2009).

Figura 2: Caminhões carregados atolados em trecho da Rodovia BR 163.



Fonte: Portal 24 Horas News (2017).

A produção agrícola é escoada para os armazéns e portos majoritariamente através de rodovias que, muitas vezes, se encontram em precárias condições, como é o caso da rodovia BR 163, ocasionando todo ano a perda de toneladas de produtos. As viagens demandam bastante tempo e consomem muito combustível, o que faz com que encareçam, assim, os custos com transporte. É importante ressaltar que a rodovia BR 163 foi construída como alternativa de integralização da Região Amazônica e, devido à ausência de estudos mais detalhados em alguns trechos, está assentada sobre terrenos com presença de solos moles.

Antunes et al. (2013) esclarecem que as obras de engenharia para a construção de rodovias, ferrovias, dutovias e linhas de transmissão apresentam aspectos semelhantes que devem ser considerados, sobretudo, com respeito ao material, quando este é composto por solos moles e /ou argilas orgânicas para, assim, evitar ou até mesmo minimizar os efeitos negativos de obras assentadas sobre este material.

Dessa forma, o planejamento é a principal ação que deve ser tomada antes de iniciar uma obra, pois é a partir das informações e dos dados adquiridos nesta etapa que é possível tomar decisões importantes para implantação de determinada obra. No caso da rede de transporte não é diferente: pensar modais é, sobretudo, pensar no desenvolvimento econômico, social, ambiental e cultural de determinada região, pois, além dos benefícios, também é necessário

observar os impactos que tal obra irá infligir ao meio ambiente e a população local (TORRES, 2013).

O planejamento de infraestrutura de transporte sempre encontrará obstáculos, sejam de ordem natural e/ou artificial. Também por isso há a necessidade de material de apoio para encontrar soluções para contorná-los. Nesse sentido, é salutar destacar que a escolha de determinado modal viário, na atualidade, não é feita aleatoriamente, mas a partir de uma série de fatores de influência, tais como: necessidade de escoamento da produção agrícola, interligação entre cidades e regiões que mantenham uma estreita relação socioeconômica, bem como avaliação dos custos, dentre outros (RESCIA et al., 2006).

Estradas em boas condições contribuem para reduzir os custos com transporte, contribuindo para o aumento da produção e tornando as empresas mais competitivas. Se, por um lado, os investimentos no modal rodoviário para o escoamento de *commodities* podem implicar no aumento da eficiência, por outro lado, a infraestrutura das estradas e o fluxo de veículos podem apresentar impactos negativos e deterioração ambiental (TORRES, 2013).

Rescia et al. (2006) apontam que os projetos de construções de modais com mais de 100 km geralmente causam problemas aos ecossistemas, o que reflete diretamente em aspectos socioeconômicos, de funcionalidade, de conservação e ambientais. Essas intervenções causam mudanças significativas no espaço e na paisagem que repercutem diretamente na variedade biológica, podendo alterar o equilíbrio ecológico e a dinâmica espacial da população local.

Para Brutton (1978), independente da finalidade, o planejamento de transporte deve apresentar as seguintes características em comum:

- Etapa de pesquisa e análise que estabeleça a demanda presente por movimento, seu grau de atendimento, as relações entre essa demanda por movimentos e o ambiente urbano;
- Etapa de previsão e de formulação do plano que projete para alguma data futura a provável demanda por viagens – baseadas em dados coletados e nas relações estabelecidas na etapa de pesquisas e análises, e que formule proposições que venham atender a essa demanda;

- Avaliação que verifique se as proposições de transportes elaboradas satisfazem a demanda por viagens, prevista com segurança, capacidade e níveis de serviço adequados e que proporcione o máximo de benefícios para a comunidade pelo mínimo de custos.

Brutton alerta, ainda, que no processo para abertura de uma estrada é preciso observar que:

A atribuição de tráfego é aquela parte do processo que atribui um dado número de viagens a um determinado sistema ou rede de transporte. É usada para estimar o volume de tráfego nas várias ligações do sistema para um determinado ano futuro ou para simular condições atuais. O processo de atribuição de tráfego requer como *input* uma descrição completa do sistema de transporte existente e futuro, além de uma matriz de viagens interzonais (BRUTTON, 1978, p. 112).

É importante destacar que o mapeamento geotécnico é um instrumento fundamental no auxílio ao planejamento regional, uma vez que este deve ser objetivo e com informações de fácil entendimento para a avaliação geotécnica do ambiente estudado (DEARMAN, MATULA, 1976).

Carrilho (2012) chama a atenção para a necessidade de planejamento do transporte de carga. Este fez surgir uma acentuada demanda por modelos de rede, ou seja, modelos que valorizam o sistema de transporte, os fluxos e os sistemas de atividades, e podem ser usados para tomadas de decisão. Nesse sentido, emerge também a formulação de modelos de planejamento que criem cenários para futuros projetos de infraestrutura de estradas considerando os aspectos físicos e socioeconômicos.

3.1 Ferrovias: uma alternativa para o problema do escoamento da produção agrícola no Brasil

A infraestrutura de um país revela muito sobre o seu potencial de desenvolvimento econômico, sobretudo, no que se refere à malha viária, pois uma rede bem estruturada reflete o bom desempenho industrial e agrícola. Por essa e outras razões, é importante que países em processo de ascensão econômica invistam em obras de estruturação e integração de estradas, ferrovias e hidrovias. Nesta perspectiva, o Brasil nos últimos anos tem procurado

desenvolver e ampliar sua rede através de investimentos em recuperação e construção de novas rodovias e ferrovias, uma vez que a rede ferroviária brasileira é ainda muito incipiente, já que não é de fato integrada e nem atende à demanda.

Santana Júnior (2013) comenta que isso decorre de o fato da rede viária brasileira ser predominantemente rodoviária e, enfatiza ainda que um sistema ferroviário eficiente é de extrema importância para o desenvolvimento de países e regiões, uma vez que esse modal é estratégico para a composição da matriz de transporte, tornando-se um elemento importante na transformação e ascensão econômica.

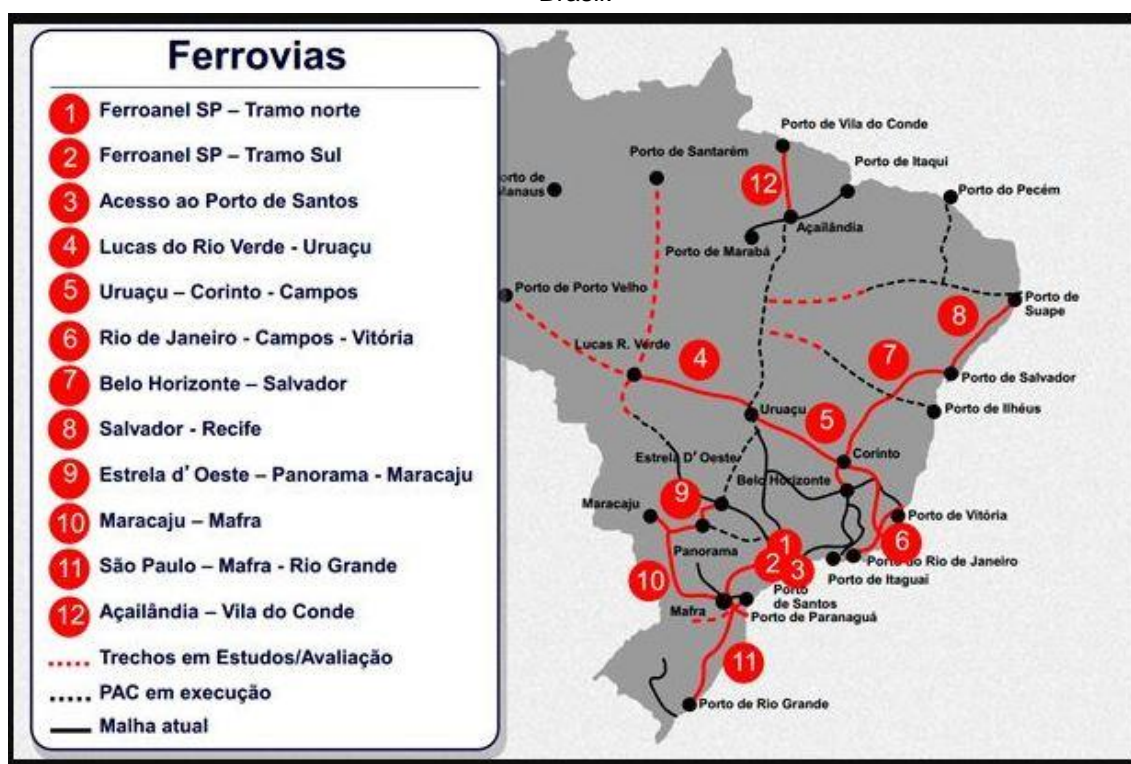
Cabe ressaltar que a implantação inicial do modal ferroviário brasileiro seguiu o modelo agroexportador, ou seja, não se pensava em uma articulação e/ou integração do território. Por essa razão, foram instaladas diversas pequenas ferrovias que atendiam à demanda econômica local e, com o tempo, estas se tornaram praticamente obsoletas e muitas foram abandonadas (CAMPOS NETO et al., 2010; DNIT, 2009).

Para o Brasil, que possui dimensão continental, o ideal seria um modal ferroviário eficiente e bem integrado. Assim, reduziria os custos com frete, combustível e os danos ambientais seriam menores, além da redução no tempo de entrega das mercadorias, dentre outras vantagens.

Um levantamento do Centro Nacional de Transporte – CNT (2013) apontou que os produtos transportados pelas ferrovias brasileiras são de baixo a médio valor agregado, ou seja, são basicamente matérias-primas, produtos agrícolas e de extração mineral, produtos semi-industrializados, líquidos, combustíveis, além de produtos industrializados de menor valor. Destacam-se como principais produtos transportados a soja, o minério de ferro, o milho, o açúcar e o carvão/coque que, em 2016, totalizaram 341.161 milhões de toneladas transportadas por quilômetro útil de ferrovia respectivamente (ANTT, 2017).

De acordo com os dados da ANTT, a distribuição das ferrovias brasileiras segue o fluxo econômico, ou seja, liga os centros economicamente dinâmicos do país às suas portas de entrada e saída, principalmente aos portos. E, como a região Centro-Sul do país é mais desenvolvida economicamente, é natural que a mesma concentre a maior parte malha ferroviária (Figura 3).

Figura 3: Espacialização das principais ferrovias construídas e em projetos de construção no Brasil.



Fonte: Moraes (2014)

3.2 Ferrovia Norte-Sul

Um dos mais importantes trechos ferroviários do Brasil compreende a Ferrovia Norte-Sul (FNS), que teve sua instalação iniciada na década de 1980 com objetivo de interligar as regiões centrais do país, percorrendo os estados de Goiás, Tocantins e Maranhão, a fim de promover o desenvolvimento e reduzir os custos de transporte no escoamento da produção (SILVA, SANTOS, 2012; CAMPOS, 2015). Ressalta-se que a concessão está sob o controle da Valec, Engenharia, Construções e Ferrovias S.A.¹.

Devido às dificuldades financeiras do governo brasileiro, a FNS ficou muito tempo sem receber investimentos para ampliação, sem poder de fato exercer a função para a qual foi pensada. Entretanto, seu projeto foi retomado no segundo mandato do governo Lula (2007-2010), pois esta ferrovia seria a espinha dorsal do modal ferroviário brasileiro, uma vez que interligaria todas as regiões do país, propiciando maior agilidade no escoamento da produção e

¹ A Valec Engenharia, Construções e Ferrovias é uma empresa pública, sob forma de sociedade por ações, vinculada ao Ministério dos Transportes (VALEC, 2018).

redução de custos com transporte, principalmente nas regiões de maior produção agrícola e agroindustrial – Mato Grosso, Tocantins, Norte de Goiás, Extremo-Oeste Baiano e sul do Maranhão (CAMPOS, 2015).

Na instalação do trecho entre os municípios de São Simão e Quirinópolis, no Estado de Goiás, foram encontrados depósitos de solos moles, ou seja, solos compressíveis, que não suportam carga, e por essa razão precisaram ser retirados (figura 4). Esta ação encarece o andamento das obras, bem como também o atrasa. Tendo em vista a importância da ferrovia Norte-Sul para o desenvolvimento econômico e integração da rede ferroviária brasileira, escolheu-se o referido trecho para validar o modelo de predição de ocorrência de solos moles proposto nesta dissertação.

Figura 4: Mosaico de trecho da ferrovia FNS com ocorrência de solos moles no município de São Simão – GO.



Fonte: VALEC (2015).

3.3 Geoprocessamento aplicado ao planejamento de infraestrutura de transportes

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte possui um setor específico que desempenha um papel fundamental na elaboração de metodologias e informações cartográficas de toda a malha viária brasileira. Objetiva atender às demandas por espacialização e análise espacial de

informações de forma precisa e é responsável pelo georreferenciamento e pelo processamento de dados em *softwares* próprios para estudos de modais de transporte (DNIT, 2017). As informações fornecidas pelo tratamento, análise de dados e geração de mapas temáticos sobre as condições físicas e ambientais são de suma importância para o planejamento de abertura de vias.

Nakamura e Guidara Júnior (2010) ressaltam que o uso das geotecnologias pode ser utilizado praticamente em todas as fases de execução da obra de uma estrada. O uso inclui análise de imagens de satélites para visualização de áreas edificadas, vegetação, corpos hídricos, altimetria curvas de nível até a obtenção de modelos digitais de terreno (MDT) que, combinados através de outras ferramentas, auxiliam na elaboração do projeto da via.

O geoprocessamento vem sendo bastante utilizado, pois reúne um conjunto de técnicas que vai desde a localização espacial do processamento de dados até a extração de variáveis importantes que auxiliam na tomada de decisões gerenciais e ainda analisa as mesmas. Dessa maneira, o Sistema de Integração Geográfica – SIG apresenta-se como o principal elemento para organizar, processar e melhorar o gerenciamento e desempenho dos sistemas de transportes (KAYONDO et al., 2010).

A partir do SIG, é possível analisar impactos, aptidões ou viabilidade de áreas propícias para empreendimentos de corredores e, através de critérios pré-definidos, é possível classificar se uma área é apta ou não para esta finalidade (WEBER et al., 1998), como no caso desta pesquisa, áreas com presença de solos moles.

3.4. Modelagem geográfica para estudos de viabilidade

As geotecnologias oferecem um leque enorme de possibilidades para os estudos de viabilidade técnica, uma vez que é possível a elaboração de diversos modelos e cenários e preditivos. Ferraz et al. (2015) enfatizam que as geotecnologias possibilitam o processamento de grande quantidade de informações, permitindo, assim, a integração de dados econômicos, sociais, ambientais e técnicos que podem ser analisados no espaço geográfico de forma temporal. Os autores supramencionados complementam discorrendo que a análise multicritério, combinada com as geotecnologias, permite uma redução

significativa no tempo de análise, além de ilustrar, sob a forma de mapas, gráficos e tabelas, as áreas de maior e menor viabilidade para implantação de obras.

Saaty (1995) considera que no processo de planejamento de obras de infraestrutura, sobretudo, no que se refere aos transportes e o uso do solo, é fundamental o emprego de modelos computacionais para apoiar a tomada de decisão, uma vez que estes são capazes de determinar a viabilidade ou não dos terrenos.

Nesse sentido, é cada vez mais salutar a adesão de uma análise sistêmica nos estudos de viabilidade, ou seja, é preciso que haja uma equipe multidisciplinar na elaboração e tomada de decisões. Nessa perspectiva, figura a análise multicritério apoiada pela técnica Analytic Hierarchy Process (AHP), que tem sido um modelo largamente utilizado, pois permite a modelagem espacial de diversas variáveis (FERREIRA JÚNIOR, OLIVEIRA, NÓBREGA, 2016).

Ferreira Júnior, Oliveira e Nóbrega (2016) utilizaram a técnica AHP com auxílio das geotecnologias para delimitar áreas de corredores alternativos no Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte, na qual consideraram diversas variáveis, como distância de rios, vegetação e características topográficas, e a partir dos dados gerados foi possível traçar distintas rotas alternativas, considerando a viabilidade de cada proposta.

Para a modelagem de predição de solos moles, o uso das geotecnologias aliadas à análise multicritério tornou-se uma importante ferramenta. Como relata Higashi (2006), a partir de variáveis ambientais, físicas e de propriedades químicas e mineralógicas do solo, corroboradas pelas coletas e observações em campo, é possível indicar áreas preditas para ocorrência desse material.

Os modelos de predição de solos apresentam-se como uma provável solução para descrever e estudar os padrões de solo, além de predizer a sua distribuição espacial por meio de relações matemáticas entre variáveis ambientais combinadas (ZHU et al., 2001; GIASSON et al., 2013; BOSCH, 2016). Embora a distribuição espacial dos solos moles no Brasil ainda seja pouco estudada, há um crescente interesse da comunidade envolvida com planejamento de transportes pelo uso desse tipo de informações em estudos de viabilidade em projetos nas escalas regional e federal.

A introdução de modelos de inteligência geográfica para apoiar EVTEA se configurou como forte auxílio para gestores públicos, *stakeholders* e decisores nas fases de definição inicial do corredor (NOBREGA et al., 2016; FERREIRA JUNIOR, OLIVEIRA e NÓBREGA, 2016; STICH et al., 2011; SADASIVUNI et al., 2009), bem como para apoiar projetistas e engenheiros de estradas no desenvolvimento da obra e mesmo posterior à sua conclusão.

4. MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DE SOLO

Um dos grandes desafios dos projetos de engenharia de transporte é a ausência de informações no território brasileiro sobre a existência de solos moles, pois a presença desse material pode influenciar significativamente na implantação da obra, sendo necessário, às vezes, o desvio do traçado inicial ou a realização de correção para que o terreno consiga suportar carga. Entretanto, tais medidas tendem a elevar os custos do empreendimento e, muitas vezes, não são tão viáveis, acarretando um prejuízo ao desenvolvimento da rede de transporte do país, sobretudo, quando é referente à malha ferroviária, que por si só já apresenta altos valores para implantação.

A identificação e o mapeamento de áreas com ocorrências de solos moles são fundamentais para auxiliar no planejamento do modal de transporte, pois a partir desses dados é possível a tomada de decisão e a elaboração de projetos adequados (FUTAI, 2010).

Estudos geológicos, pedológicos e geotécnicos, bem como observações *in loco* e coleta de material para análise em laboratório, são de suma importância durante os mapeamentos preliminares da área que se pretende implantar um modal de transporte. Francelino (2009) indica que se deve representar os depósitos de solos moles em plantas de mapeamento geológico e pedológico de toda a área de domínio para facilitar a compreensão e o entendimento das características da área.

O mapeamento pedológico é de fundamental importância para o conhecimento das propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos. Logo, a utilização adequada de informações contidas em levantamentos de solos fornece subsídios para o planejamento de diversas áreas de atividade, sejam agrícolas ou não-agrícolas (COSTA et al., 2009).

Embora os mapas pedológicos apresentem informações de grande importância, o uso destas ainda é restrito às áreas correlatas à pedologia, o que ocorre principalmente devido à dificuldade de interpretação das informações por não especialistas em solos (COSTA, 2017)². Cabe destacar que, devido à

² Comunicação pessoal de Adriana Monteiro da Costa, em 01 de novembro de 2017, redigida pelo mesmo.

grande extensão territorial e à escassez de investimentos em mapeamentos de solos no Brasil, estes, quando existem, apresentam baixo nível de detalhamento (SANTOS et al., 2013), sendo que os levantamentos atuais podem ser divididos em três categorias: de baixa intensidade, em escalas de 1:250.000 a 1:750.000, que cobrem aproximadamente 85% do território; os de média intensidade em escala entre 1:100.000 a 1:250.000, que representam somente 8,5% do território, e os levantamentos de alta intensidade que cobrem somente cerca de 1,71% do território brasileiro, com nível de detalhamento entre 1:50.000 a 1:100.000 (EMBRAPA, 2016; WEBER et al., 2006).

Com o avanço do desenvolvimento econômico e o crescimento das áreas urbanas surge a necessidade de novas informações e conhecimentos acerca do comportamento geotécnico de áreas com potencial para obras de engenharia, buscando subsidiar a tomada de decisões quanto ao planejamento de obras e do uso adequado dos solos.

Os mapas geotécnicos de solos apresentam características importantes para o direcionamento adequado aos diversos tipos de obras de engenharia a serem construídas sobre tais materiais. A esse respeito, Higashi enfatiza que

O mapeamento geotécnico aplicado a áreas urbanas é um importante instrumento da engenharia que representa a expressão prática do conhecimento geomecânico do solo aplicado à gestão de problemas impostos pelo seu uso [...]. Os estudos geotécnicos **preveem** a potencial utilização da área mapeada tendo em vista as mais variadas características geotécnicas, como resistência ao cisalhamento, compressibilidade, infiltração de água, susceptibilidade à erosão, utilização de determinados tipos de solos como jazidas para pavimentação, entre outras, estando sua plena aplicação apenas dependente dos tipos de informações adquiridas e das escalas empregadas (HIGASHI, 2006, p. 33-34, grifo nosso).

Todavia, o mapeamento geotécnico deve ter por objetivo prever a ocorrência de fenômenos que precisam ser evitados ou minimizados. Para isso, precisa ser baseado, principalmente, nas características geomecânicas dos solos (HIGASHI, 2006). Bachion (1997) relata que a falta de base topográfica adequada, bem como de conhecimento técnico por parte dos profissionais que atuam nessa área é um entrave para a elaboração de mapeamentos geotécnicos. Zuquette (1987 apud MARTINS, 2005) afirma que a principal contribuição do mapeamento geotécnico é a predição do potencial de uso das

unidades identificadas para direcionar o uso adequado para cada área e, assim auxiliar na tomada de decisão.

Dessa forma, é relevante destacar que os usos de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto são de extrema importância na elaboração do mapeamento geotécnico, pois é através delas que serão adquiridas e tratadas as imagens de satélite e as fotos aéreas que serão utilizadas para geração do mapa base (HIGASHI, 2006).

4.1. Solos: definições e conceitos

Os solos são a base de sustentação da vida na Terra e a sua origem se entrelaça com a da própria Terra. A partir do resfriamento da crosta e do aparecimento de H₂O na forma líquida, iniciou-se o processo de intemperismo que antecedeu o processo de pedogênese, formando os primeiros solos, há aproximadamente dois bilhões de anos (HUNT, 1972; LEPSCH, 2011).

A formação dos solos está diretamente relacionada com a interação entre o clima, os organismos, o relevo, o material de origem e o tempo. A diferente atuação destes fatores associadas a processos que ocorrem internamente nos solos revelam uma diversidade temporal e espacial significativa. Por essa razão, também é relevante considerar os solos como sistemas dinâmicos, pois a partir da interação desses elementos aliados ao intemperismo origina-se a pedogênese, que pode resultar em diferentes tipos de solos (LEPSCH, 1980; LEPSCH, 2010; GUERRA, 2014).

Espíndola (2008) destaca que, durante muito tempo, o solo foi tido somente como suporte à vegetação, como fornecedor de nutrientes ou mesmo material fruto do intemperismo das rochas. Entretanto, com o aumento do desenvolvimento econômico e populacional, percebeu-se que os estudos sobre os solos são de grande importância para diversas outras áreas do conhecimento.

É salutar enfatizar que a ciência contribui significativamente para o desenvolvimento, sobretudo, no que se refere à infraestrutura. Dessa maneira, a Ciência do Solo assume papel ímpar, pois é partir de medidas de ordenamento do território que se torna possível uma interação entre a pedologia e as técnicas de geoprocessamento para a identificação e predição dos tipos de solos ocorrentes no Brasil.

Assim, as informações já existentes sobre os solos brasileiros, aliadas à interpretação, adequada podem fornecer subsídios de uso dos solos às diferentes áreas. O conhecimento das características dos diferentes tipos de solos e de como estas podem influenciar no uso dos mesmos é de fundamental importância para trabalhos relacionados à identificação de solos moles.

Nos tópicos a seguir será apresentada uma discussão sobre definições de solos segundo a visão pedológica e geotécnica, buscando identificar convergências que permitam o uso das informações de solos disponíveis no SiBCS para uso na identificação dos solos moles definidos pela geotecnia.

4.1.1 Definição de solos pela Pedologia

A pedologia – responsável pelo estudo do solo desde a sua formação – investiga as características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas do solo, distinguindo cada camada de acordo com suas características específicas. De acordo com Santos et al. (2013), o solo é um conjunto de materiais naturais constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas dispersas na maior parte do manto superficial das extensões continentais, com grande atividade biótica, podendo ser vegetado, bem como ter sofrido e/ou sofrer interferências humanas. No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS, os solos consistem em

(...) seções aproximadamente paralelas, organizadas em camadas e/ou horizontes que se distinguem do material de origem inicial, como resultado de edições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria, que ocorrem ao longo do tempo e sob a influência dos fatores clima, organismos e relevo. Os horizontes refletem os processos de formação do solo a partir do intemperismo do substrato rochoso ou de sedimentos de natureza diversa. As camadas, por sua vez, são pouco ou nada afetadas pelos processos pedogenéticos, mantendo, em maior ou menor proporção, as características do material de origem (SANTOS et al. p. 27).

Lepsch (2010) define solo como resultado da interação entre os agentes internos e externos da crosta, tais como ação do clima e de organismos que atuam sobre o material de origem e sendo influenciados também pelo relevo local. O autor infere, ainda, que o pedólogo compreende o solo como um objeto completo de estudos básicos, e ao mesmo tempo aplicados, que podem ser

entendidos a partir de métodos científicos de induções e deduções. Já para a Soil Science Society of America (2017), solo é

(i) materiais e minerais não consolidados dispostos na superfície da Terra, que servem como nutrientes para plantas. (ii) matéria orgânica ou mineral não consolidado na superfície da terra que foi submetida a processos ambientais de efeito do clima, de micro e macroorganismos. O solo difere do material de origem devido as transformações físicas, químicas, biológicas e morfológicas³.

De modo geral, os pedólogos compreendem o solo como sendo uma massa natural sobre a superfície da Terra que suporta plantas, além de ser a junção de elementos naturais vivos e abióticos resultante da dinâmica de processos químicos e físicos que agem sobre a rocha matriz.

Percebe-se que as definições trazidas nesta discussão focam nos processos e fatores de formação do solo, ou seja, em termos pedológicos, o importante é entender/compreender os processos que dão origem e os possíveis desdobramentos deste na constituição dos solos (LESPCH, 1980). No entanto, é difícil se chegar um conceito ideal para o solo devido à sua dinâmica natural e às possíveis interferências, como por exemplo, a variação no nível de água que irá influenciar diretamente nos processos formadores.

Oliveira (1999) comenta que muito antes da Era Cristã os povos antigos já haviam atentado para a importância de agrupar os solos em diferentes categorias, levando em consideração a cor e a produtividade dentre outros aspectos, conforme aponta a literatura existente. Nesse sentido, desde então, faz-se necessário categorizar, classificar, mapear e organizar a distribuição espacial dos solos, a fim de uma melhor compreensão da sua dinâmica e, conseqüentemente conseguir prever seu comportamento (SELBY, 1993 apud GUERRA, 2014).

Buscando organizar e espacializar a distribuição dos solos do Brasil, a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo publicou a classificação daqueles ocorrentes no país. Esta classificação de ordem taxonômica baseia-se no antigo

³ Tradução livre de: (i) The unconsolidated mineral or organic material on the immediate surface of the Earth that serves as a natural medium for the growth of land plants. (ii) The unconsolidated mineral or organic matter on the surface of the Earth that has been subjected to and shows effects of genetic and environmental factors of: climate (including water and temperature effects), and macro- and microorganisms, conditioned by relief, acting on parent material over a period of time. A product-soil differs from the material from which it is derived in many physical, chemical, biological, and morphological properties and characteristics.

sistema norte americano, bem como em seus conceitos e fundamentos. Assim, surgiu o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo – SiBCS, que leva em consideração as características morfológicas, físicas, químicas e biológicas dos solos. Esta classificação é atualmente composta por um total de treze classes, a nível de ordem (SANTOS et al., 2013).

A seguir são apresentadas algumas características gerais presentes no SiBCS de cada uma das treze classes de solos identificadas para o território brasileiro.

- Argissolos: profundidade variável; podem ser muito bem ou imperfeitamente drenados.
- Cambissolos: os solos dessa classe podem variar de fortemente a imperfeitamente drenados; podem ser rasos ou profundos com alta ou baixa saturação por bases e atividade química da fração argila.
- Chernossolos: podem ser de bem a imperfeitamente drenados e admitem presença de gleização, ou seja, ambiente saturado. Apresentam argilominerais 2:1, principalmente os do grupo das esmectitas.
- Espodossolos: drenagem muito variável devido à profundidade, grau de desenvolvimento e endurecimento ou cimentação do B espódico. São solos desenvolvidos a partir de materiais arenoquartzosos, sob condições de umidade elevada.
- Gleissolos: são hidromórficos, isto é, encontram-se saturados por água e, por essa razão, são mal ou muito mal drenados naturalmente. Podem apresentar textura arenosa, francoarenosa ou mais fina.
- Latossolos: são solos bem desenvolvidos, bem drenados e profundos, com espessura do *solum* raramente inferior 1 metro.
- Luvisolos: São pouco profundos e podem ser de bem a imperfeitamente drenados e com expressiva presença de argilominerais 2:1.
- Neossolos: são solos jovens constituídos por material mineral ou orgânico, com menos de 20 centímetros de espessura, e sem a presença de horizonte B diagnóstico.
- Nitossolos: são constituídos por material mineral, com horizonte B nítico, com argila de atividade baixa ou caráter alítico na maior parte do horizonte B dentro de 150cm a partir da superfície. Apresentam textura argilosa ou muito argilosa.

- Organossolos: são solos poucos desenvolvidos e com alto teor de matéria orgânica. Ocorrem em ambientes mal drenados de clima tropical e com hidromorfia, em região costeira e em deltas e ambientes lacustres. Devido ao fato de o lençol freático apresentar-se elevado em grande parte do ano, dificulta os processos pedogenéticos, o que resulta na acumulação expressiva de restos vegetais.
- Planossolos: caracterizam-se como solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial (podem ser hidromórficos ou não).
- Plintossolos: são solos minerais formados em condições de restrição à percolação da água e sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, apesar de imperfeitamente mal drenados; porém, podem ocorrer também em ambientes bem drenados.
- Vertissolos: estes solos se desenvolvem em ambientes de bacias sedimentares ou a partir de sedimentos com predomínio de materiais de granulometria fina e com altos teores de cálcio e magnésio. Podem ocorrer em diversos climas, do mais seco aos mais úmidos. Apresentam grande concentração nas bacias sedimentares do Nordeste do Brasil.

A classificação de um solo depende de uma série de fatores químicos, físicos, morfológicos, mineralógicos e topográficos. A compreensão da relação entre estas características contribui para o conhecimento da paisagem e facilita o mapeamento (FLORES; ALBA, 2012). É importante destacar que uma classificação adequada dos solos auxilia a correlação entre a gênese e evolução da paisagem, bem como os fatores ambientais e econômicos relativos à ocupação, manejo dentre outros (OLIVEIRA et al., 1999).

Guerra (2014) ressalta que os levantamentos de solos têm como objetivo gerar classificações de aptidão de uso da terra. Embora a classificação do SiBCS tenha enfoque pedológico sobretudo direcionado para o potencial agrícola, é indiscutível sua importância para as demais áreas do conhecimento que tem no solo sua base de trabalho.

4.1.2. Definição Geotécnica de solos

O conceito de solo é variável em função de quem se utiliza do mesmo. Na geotecnia os solos ou terras consistem em todo material friável, desmontável a pá, picareta, enxada ou máquinas de terraplanagem, e podem ser divididos em três categorias quanto à sua origem: a) residuais, decorrentes da rocha de origem; b) transportados, quando o material de origem diverge do local onde foi formado e, c) os solos orgânicos, que são aqueles provenientes de decomposição de matéria orgânica, seja de ordem vegetal e/ou animal (RODRIGUES, 1977).

De acordo com Marangon (2004), para os estudos na área da engenharia geotécnica, os solos foram agrupados em três grandes classificações: Solos Minerais não Hidromórficos, Solos Minerais Hidromórficos e Outros Solos.

Segundo o autor, os Solos Minerais não Hidromórficos apresentam-se desenvolvidos, com boa condição de drenagem e são pouco afetados pela dinâmica do lençol freático. Os Solos Minerais Hidromórficos estão situados, geralmente, em terrenos baixos ou pequenos anfiteatros de cabeceiras de drenagem, e são desenvolvidos próximos à zona saturada ou na própria zona saturada. Os Outros Solos correspondem às Areias Quartzosas, aos Vertissolos e aos Solos Orgânicos (MARANGON, 2004).

No Quadro 1 é apresentada a correspondência entre classificação de solos proposta para a geotecnia com a do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).

Destaca-se que a classificação brasileira de solos (SiBCs) baseia-se em critérios morfológicos do solo ligados à sua gênese e estes se refletem no comportamento dos solos para os diferentes usos e manejos. Para a classificação são utilizadas diferentes análises físicas, químicas e mineralógicas, que juntamente com a análise morfológica subsidiarão a classificação dos solos. Assim, o nome da classe em si traz toda uma referência do potencial e fragilidades da mesma.

A classificação geotécnica dos solos, por sua vez, utiliza-se basicamente dos dados de granulometria e os limites de Atterberg⁴.

⁴ Define o Limite de Liquidez, o Limite de Plasticidade e o Limite de Contração de um solo.

Desta forma, a convergência entre os conhecimentos pedológicos e geotécnicos acerca dos solos pode contribuir significativamente para o entendimento e interpretação do comportamento das diversas unidades pedológicas existentes no âmbito da geotecnia, sobretudo, para aqueles relacionados às obras de infraestrutura (MARANGON, 2004; SANTOS et al., 2006).

Quadro 1: Correspondência entre a classificação proposta por Salomão e Antunes (1998) para geotecnia e a classificação destes solos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Classe de solo	Horizonte Diagnóstico	Sistema antigo	Novo Sistema de Classificação Embrapa (2013)
Minerais não hidromórficos	B latossólico	Latossolo	Latossolos
	B textural	Podzólico Terra Roxa Estruturada Brunizem	Argissolos, Nitossolos, Luvissolos, Plintossolos Nitossolos, Argissolos Chernossolo
	B câmbico	Cambissolo	Cambissolo
	Sem Horizonte B	Litossolo	Neossolo Litólico
Minerais Hidromórficos	Materiais Arenosos	Podzol Podzol Hidromórfico Areia Quartzosa Hidromórfica	Espodossolos Espodossolos Neossolos
	Materiais Areno-argiloso ou Argilo-arenoso	Glei Húmico Planossolo Planossolo sódico	Gleissolos Planossolos Planossolos
	Materiais Argilosos	Glei Húmico Glei pouco Húmico Glei Salino Tiomórfico	Plintossolos Gleissolos Gleissolos
Outros Solos		Areias Quartzosas Vertissolos Orgânicos	Neossolos Vertissolos Organossolos

Fonte: Marangon (2004). Adaptado pelo autor (2018).

No universo geotécnico a heterogeneidade de materiais encontrados em regiões costeiras varia com espessos pacotes de solos sedimentares argilosos e residuais decorrentes do intemperismo e da rocha mãe, e podem resultar em problemas nas obras de infraestrutura, provocando deformações nas edificações, erosões em áreas elevadas, instabilidade de encostas, dentre outras (ESPÍNDOLA, 2011; ALMEIDA & MARQUES, 2010).

4.2. Solos moles: conceituação, constituição e dinâmica

Os solos moles são aqueles que não apresentam resistência, sobretudo, quando submetidos à pressão ocasionada por alguma obra de infraestrutura, e que possuem material friável e colapsível (PINTO, 2006). Considera-se também aqueles que apresentam consistência predominantemente argilosa, com valor de N-SPT⁵ entre 3 e 5, e de origem geralmente sedimentar, apresentando resistência ao cisalhamento extremamente baixa. Também pode ser caracterizado como saturado e relativamente homogêneo, com alto potencial de compressibilidade (ABNT, 1982; PINTO, 2006) e baixa permeabilidade (MAMAT, 2013). Segundo Pinto (2006), essas características estão relacionadas ao material de origem, ao ambiente em que se encontram, que é geralmente úmido, bem como à composição mineralógica.

Corroborando essa afirmação, Futai considera que

As argilas moles ou solos moles são aqueles que possuem resistência não drenada inferiores 25 kPa ou, Índice de consistência menor que 0,5 ou ainda N_{SPT} zero ou onde amostrador desce com o peso próprio da composição. [...] muitas vezes a denominação de argilas moles ou solos moles é utilizada de forma genérica e sem se atentar para as características geotécnicas do solo. Os solos moles são caracterizados por baixa resistência mecânica e elevada compressibilidade. A baixa permeabilidade do solo influencia na sua resistência, pois o carregamento rápido gera numa pressão neutra e por isso, a resistência é dita não drenada (FUTAI, 2010, p. 1).

O Standard Penetration Teste (SPT) serve para classificar o estado do solo através da compacidade quando se tem areia ou silte arenoso, ou pela consistência quando o material é argila ou silte argiloso. Nas tabelas 1 e 2 são apresentados os índices para classificar os materiais conforme os golpes de SPT. É importante destacar também que a resistência à penetração do solo, ou seja, a sua capacidade de suporte é definida pelo número de golpes cravados 30 cm abaixo de um primeiro trecho perfurado de 15 cm (PINTO, 2006).

⁵ O Standard Penetration Test – SPT é utilizado para verificar a capacidade de suporte do solo *in situ*.

Tabela 1: Classificação da compactidade da areia com relação ao SPT.

Resistência à penetração (N-SPT)	Compactidade da areia
0 a 4	Muito fofa
5 a 8	Fofa
9 a 18	Compactidade média
18 a 40	Compacta
Acima de 40	Muito compacta

Fonte: Pinto (2006).

Tabela 2: Classificação da consistência da argila com relação ao STP.

Resistência à penetração (N-SPT)	Consistência da argila
<2	Muito mole
3 a 5	Mole
6 a 10	Consistência média
11 a 19	Rija
>19	Dura

Fonte: Pinto (2006).

Os solos moles ocorrem em todo território brasileiro, porém, são mais comuns no litoral, podendo ocorrer também em ambientes lacustres, não marinhos. Nos depósitos litorâneos brasileiros são encontradas extensas áreas de sedimentos com teor de matéria orgânica em peso, variando de 4 a 20% (PINTO, 2006). Rodrigues (1977) considera que os solos orgânicos, devido às suas características morfológicas, são enquadrados na categoria de solos moles na geotecnia. A sedimentação recente desfavorece a capacidade para suportar cargas pesadas, tais como aterros, edifícios e tráfego intenso de caminhões sem que sejam deformados. O autor destaca também que os solos orgânicos são frequentes em áreas de várzeas de rios devido à grande quantidade de materiais que ali são depositadas através da ação das águas.

Os depósitos moles, presentes no Brasil, possuem suas origens em termos geológicos no Quaternário, tendo sido depositados pelo menos em dois ciclos: um no Pleistoceno e o outro, mais recente, no Holoceno. Tais depósitos

eram considerados como resultado do intemperismo que guardam importantes registros de eventos ocorridos no Quaternário (SPANNENBERG, 2003; CAMPOS, 2006; TATUMI et al., 2008; FUTAI, 2010).

De acordo Spannenberg (2003), os depósitos moles brasileiros não apresentam grandes diferenças com relação à composição mineralógica. Entretanto, estes apresentam teores de matéria orgânica muito próximos, ou seja, inferiores a 5%, sendo que tanto os limites de consistência quanto o de compressibilidade diferem muito pouco um do outro.

Massad (1999 apud HIGASHI, 2006), considera que o período de deposição desses materiais deu origem a dois tipos de sedimentos argilosos de características diferentes, a saber:

Sedimentos Pleistocênicos: formados há mais de 120 mil anos e apresentam textura argilosa (argilas transicionais - ATs) ou arenosa na base e no topo (Areias Transgressivas). Esse primeiro momento de deposição foi marcado pela regressão do nível do mar e intenso processo erosivo. Devido ao fato de terem sido submetidas a esses processos, as argilas tornaram-se sobreadensadas.

Sedimentos Holocênicos: originados há cerca de 10 mil anos, são argilas e areias ricas em conchas, depositadas em locais de lagunas, canais, baías ou estuários, que foram denominados de sedimentos Flúvio-Lagunares e de Baías. Os materiais oriundos desse período de deposição, por não terem sofridos os processos do ciclo anterior, se comportam como adensados (MASSAD, 1999 apud HIGASHI, 2006, p. 98).

A esse respeito, Souza et al. (2005) discorrem que os depósitos pleistocênicos correspondem aos estratos que apresentam mais de 70% de fósseis de moluscos correspondentes às espécies viventes, enquanto que os holocênicos se referem aos depósitos que contêm somente espécies viventes.

Os depósitos sedimentares quaternários acumulados na costa brasileira acumularam-se em ambientes continentais e transicionais que foram retrabalhados por processos ligados a ambientes lagunar, praias e marinho raso pelo menos em quatro ciclos de transgressão e regressão. Esses depósitos compreendem fácies sedimentares das formações Gravataí, Serra de Tapes, Graxaim e Guaíba, no Rio Grande do Sul; Iquererim, Canhaduva e Cachoeira, em Santa Catarina; Alexandra, no Paraná; Pariquera-Açu, em São Paulo; e Formação Barreiras, que se estende do Rio de Janeiro até o Amapá (SOUZA, et al., 2005).

Os depósitos moles podem ocorrer em diferentes ambientes tais como: coluvial, aluvial, eólicos residuais, bem como em fluxos de lama. Porém, apesar desses solos estarem relacionados a climas semiáridos e áridos, são geologicamente recentes, podendo aparecer em distintos tipos climáticos (VILLAR et al., 1981 apud OLIVEIRA, 2002). Todavia, ocorrem em maior abundância em ambientes marinhos com idade que remete à última era glacial, fato esse que explica a expressiva presença desse material no litoral brasileiro (HIGASHI, 2006).

Nesse sentido, o conhecimento sobre a constituição mineralógica do solo mole é de extrema importância, pois é ela que irá influenciar o seu comportamento. A literatura explica que as argilas moles são constituídas por argilominerais, matéria orgânica e outros tipos de minerais tais como a mica e a alumina e demais impurezas (PÓVOA, 2016).

É necessário ressaltar que os solos argilosos são constituídos predominantemente por argilominerais e em alguns casos podem conter matéria orgânica, bem como quartzo e alumina, além de outros elementos. Por essa razão, os argilominerais são resultantes de diferentes ligações entre as camadas e da consequente substituição de íons de alumina ou sílica (PINTO, 2006).

Campos (2006) considera que, para a geotecnia, os minerais caulinita, esmectita e a illita são de grande interesse, sobretudo para a engenharia civil. Por ser fração 1:1, a caulinita apresenta estrutura estável, sem água entre as camadas e possui também baixo valor de expansão bem como de retração. Já a esmectita de característica 2:1 é um argilomineral com elevado grau, com propriedades plásticas e coloidais e apresentam, ainda, variações em suas propriedades físicas. A illita, apesar de ser um argilomineral 2:1 apresenta camadas fortemente ligadas e não são expansivas.

Para entender melhor o comportamento desses solos, Pinto (2006) destaca que a rigidez de um solo argiloso vai depender da quantidade de umidade, sendo que quanto mais úmido menos consistente. Desta maneira, a consistência da argila está diretamente relacionada à umidade e ao número de vazios existentes. Por essa razão é necessário saber os Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e o teor de água das argilas para se obter o Índice de Consistência. Para determinar o índice de consistência de solo úmido basta usar a fórmula:

$$IC = (LL - h) / IP$$

Onde:

IC – Índice de Consistência

LL – Limite de Liquidez

h – Umidade

IP – Índice de Plasticidade

Após executar a fórmula descrita acima é possível se obter o Índice de Consistência e, assim, é possível classificar os solos (argilas) em:

Muito mole	IC < 0
Mole	0 < IC < 0,5
Médio	0,5 < IC < 0,75
Duro	IC > 1

Fonte: Pinto (2006). Adaptado pelo autor (2018).

Segundo Pinto (2006), a consistência é calculada para solos sedimentares devido às características peculiares destes materiais. O autor destaca também que o resultado do IC pode revelar valor alto devido ao número elevado de vazios, pouca umidade e baixa resistência dos solos analisados.

Medrado (2009) infere que solos muito argilosos com muita matéria orgânica e friável não são aptos para suportar obras de pavimentação, e por essa razão esses materiais são denominados pela Mecânica de Solos de “solos moles”. A saber, a análise que indica essas características se baseia na granulometria, nos limites de Atterberg – Limite de Liquidez – LL e Índice de Plasticidade-IP.

Bertuol (2009) apresenta uma adaptação do critério proposto por Skempton e Northey (1952) para classificar uma argila quanto à sua sensibilidade (solos moles) (Quadro 2).

Quadro 2: Classificação da sensibilidade de argila.

Sensibilidade	Classificação
1	Argilas insensíveis
1 a 2	Argilas de baixa sensibilidade
2 a 4	Argilas de média sensibilidade
4 a 8	Argila sensível
Maior que 8	Argila extrassensível
Maior que 16	Quick-clays

Fonte: Bertuol (2009).

As análises que resultam essas características são realizadas em laboratório e são importantes para definir o grau de sensibilidade da argila, pois através do resultado dos testes é possível detectar a resistência e, conseqüente, a capacidade de suporte do solo analisado. Pinto (2006) atribui a sensibilidade das argilas ao processo de sedimentação, ou seja, quando as partículas se arranjam, sendo que este arranjo é dinâmico devido às atividades químicas entre as partículas e/ou pela remoção de sais através do processo de percolação da água.

Dessa forma, a sensibilidade é um indicativo de resistência da argila. O autor supramencionado ressalta ainda que os solos argilosos orgânicos das baixadas litorâneas brasileiras apresentam baixa resistência, como, por exemplo, na região de mangue da Baixada Santista.

Skempton e Northey (1952 apud Bertuol, 2009) relatam que a sensibilidade de uma argila está associada ao cisalhamento amolgado muito reduzido podendo haver a possibilidade da existência de uma estrutura estável após a remoldagem. Os autores consideram, ainda, que a sensibilidade não está relacionada diretamente ao material de origem, pois testes feitos em laboratório em materiais com as mesmas características litológicas apresentam diferentes graus de sensibilidade, demonstrando, portanto, que a sensibilidade está relacionada às condições ambientais às quais o solo está exposto.

Bertuol descreve a análise para determinar a sensibilidade da argila correlacionada com o pH

[...] com o aumento do teor de sódio, aumentava também sensibilidade com o pH, sendo este aumento crítico quando a proporção, expressa pela equação $\frac{Na}{K,Ca,Mg}$, atinge valores próximos a 5,5 (valor frequente). Isto mostra um elo entre pH, quantidade de íons sódio e sensibilidade. [...] Mitchell (1976) complementa afirmando que, no outro extremo, com pH elevado, os íons de hidrogênio podem ser dissolvidos aumentando a carga negativa, o que também aumenta a espessura da camada iônica dupla e por consequência a sensibilidade (BERTUOL, 2009, p. 37, grifo nosso).

Neste sentido, como já mencionado anteriormente, a matéria orgânica preconiza importante elemento nesse processo, pois favorece o desenvolvimento dos ácidos. Cabe ressaltar que as argilas brasileiras apresentam sensibilidade baixa à média quando comparadas, por exemplo, com as argilas moles da Escandinávia e Canadá que se apresentam extremamente elevadas (PÓVOA, 2016).

De fato, a caracterização de solos moles é bem complicada, tendo em vista as peculiaridades desses materiais. Estes solos podem ser considerados entre os mais complexos, uma vez que é necessário conhecer não apenas sua resistência ao cisalhamento não drenada, bem como os parâmetros de compressibilidade e condutividade hidráulica e seu comportamento nas condições indeformada e amolgada, pois tais dados são de difícil obtenção conforme relatado por Bertuol (2009).

4.3 Obras sobre solos moles: estudos de caso

O conhecimento pedológico é fundamental para a engenharia, principalmente para a civil, pois o mapeamento do solo é indispensável para os estudos geotécnicos prévios de uma obra, além de possibilitar a verificação da disponibilidade de materiais na região para a construção civil (GODOY, BERNUCCI, 2000).

Os estudos sobre solos moles são bem recorrentes na engenharia civil devido à necessidade de conhecer o comportamento desses materiais para implantação de obras de infraestrutura, sejam abertura de estradas e/ou construção de prédios. Na literatura, são encontrados inúmeros trabalhos que detalham os procedimentos adotados para identificar e corrigir áreas que tenham depósitos moles.

Segundo Higashi (2006), na faixa litorânea brasileira, principalmente nas áreas de relevo plano, é comum a presença de solos sedimentares com profundos perfis de argilas moles, areias quartzosas e solos residuais pertencentes a diferentes classes. Em um estudo sobre os solos do litoral catarinense, Higashi (2006) constatou a presença de perfis profundos de depósito mole, intercalados com camadas de solo arenoso e baixos valores de resistência à penetração (SPT). O autor destaca, ainda, que os solos moles se situam especialmente na parte plana da costa e com profundidade que atinge até 20 metros.

Villibor et al. (2009) apontam que no Rio de Janeiro e na Baixada Santista existem extensas áreas de depósitos moles. A Baixada Fluminense dispõe de inúmeros estudos sobre o comportamento desses materiais e, por conseguinte, se tornou referência para as demais regiões do Brasil.

Higashi (2006) identificou, também, que a maior parte do centro urbano da cidade de Tubarão, SC, é composta por solos moles, fato este que tem gerado grandes problemas estruturais para o município, tais como rachaduras em prédios e desníveis nas estradas. O autor identificou espessas camadas de argilas moles em domínios de solos Orgânicos e Gleissolos. Ele atribui o surgimento desse material à proximidade com o mar e ao relevo plano.

Antunes (1978 apud CAVALCANTE et al., 2007), em trabalho realizado na região de Sarapuí, Rio de Janeiro, constatou através de testes realizados em laboratório e confirmados em campo uma camada argilosa muito mole, com expressiva presença de matéria orgânica com teores entre 4,1 a 6,4 %, além de concentrações de sais solúveis na faixa de 4,7 a 8,5 gf/l. Verificou, ainda, que a camada em estudo era formada principalmente por argilominerais caulíníticos, que são os constituintes dominantes.

Segundo Póvoa (2016), apesar da literatura apresentar os solos moles como argilas orgânicas, é comum encontrar depósitos com baixo teor de matéria orgânica, conforme encontrado pela autora em estudo realizado em Macaé, onde o teor de matéria orgânica varia entre 4 a 6,5%. Entretanto, os solos moles geralmente concentram-se em áreas extremamente úmidas. A autora identificou também na fração argila a caulinita como mineral predominante, além da presença de illita, esmectita e quartzo.

Jannuzzi (2009), em pesquisa realizada em Sarapuí, nas proximidades da Rodovia Washington Luiz (BR 116 e 040), encontrou depósitos muito moles os quais classificou como argila siltosa, orgânica, com presença de fragmentos de conchas, muito mole, o que corroborou os resultados encontrados por Póvoa (2016) em Macaé. A autora observa, ainda, que em algumas áreas a espessura de argila mole varia entre 7,5 e 8,0 metros. Destaca-se que esse material está associado à combinação de silte, argila, areia e matéria orgânica, distribuídos, principalmente, em ambientes úmidos. Entretanto, a autora orienta a realização de estudos geofísicos na área para definição da espessura da camada mole, bem como compreender a geologia local.

Em um estudo na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, Baroni (2010) identificou três sítios com camadas de solos moles com aproximadamente 20 metros de espessura, o qual classificou como sendo argila siltosa ou silto-argilosa com presença de areia e conchas. Os resultados da análise granulométrica da área estudada comprovaram os testes de campo em que se constatou que o sítio denominado de Gleba apresenta a maior espessura de solo mole. Este resultado reforça que os depósitos moles geralmente estão associados à presença de argila e silte em conjunto com o alto teor de matéria orgânica, que na área estudada chega a quase 60% (Tabela 3).

Tabela 3: Análise Granulométrica dos solos localizados na área Gleba.

Profundidade m	Argila	Silte	Areia			Matéria Orgânica
			Fina	Média	Grossa	
			%			
1,00 – 1,60	-	-	-	-	-	59,7
2,00 – 2,60	-	-	-	-	-	39,6
3,00 – 3,60	53	26	3	15	3	19,7
4,00 – 4,60	50	33	3	13	1	12,5
5,00 – 5,60	93	4	1	2	0	8,7
6,00 – 6,60	71	25	2	2	0	6,4
7,00 – 7,60	60	36	2	2	0	6,7
8,00 – 8,60	65	30	2	3	0	6,7

Fonte: Baroni (2010). Adaptado pelo autor (2018).

Cabe destacar que os terraços marinhos holocênicos da costa brasileira são de textura arenosa e, em alguns pontos, apresentam grandes quantidades de conchas e moluscos, bem como a presença de material siltico-argiloso rico

em matéria orgânica (SOUZA et al., 2005), que favorece a formação de depósitos moles, de acordo com as características geotécnicas apresentadas.

Monteiro, Alves e Araiium (2014) identificaram na pista Norte da Rodovia Anhanguera em Campinas, SP, depósitos de argila siltosa com profundidade de até 7 metros e, através de testes de SPT, classificaram como sendo solos moles. Já Nogueira (2010), em um estudo realizado próximo à interligação do Rodoanel com a Rodovia dos Imigrantes, na cidade de São Paulo, identificou presença de solos moles constituídos por argila e matéria orgânica com até 4,2 metros de espessuras, além da presença de silte arenoso. Os depósitos foram classificados pela autora como muito moles com auxílio de testes SPT.

Os solos moles são encontrados em diversas partes do mundo, principalmente em ambientes marinhos. Devido às suas características singulares tem sido bastante estudado, sobretudo no âmbito da Geotecnia, que busca conhecer suas propriedades para, a partir destas, desenvolver técnicas para adequar o ambiente com solos moles para suportar obras de infraestrutura.

A Malásia criou o Research Centre for Soft Soils (RECESS), que realiza pesquisas para desenvolver métodos e técnicas para auxiliar os engenheiros civis na implantação de obras sobre terrenos, com solos moles.

Mamat (2013), em um trabalho realizado em Batu Pahat na localidade de Ayer Hitam, Malásia, constatou que os solos ali presentes apresentam baixa resistência ao cisalhamento, alta compressibilidade, baixa permeabilidade, alto teor de matéria orgânica e baixa capacidade de suporte, sendo classificados, portanto, como solos moles.

Weech e Lister (2009), em um trabalho realizado para implantação de uma estrada em Lower Mainland da British Columbia, no Canadá, constataram a presença de solo orgânico e composição de material argiloso silte e siltoso argiloso, e, de acordo com o teste kPa, classificaram tais depósitos como mole e muito mole, além de apresentarem sensibilidade muito elevada.

Na Finlândia, Hassan e Ravaska (2009) estudaram três localidades com presença de solos moles (soft soils): Helsinki University of Technology, Kuopio e Lappävaara. Esses depósitos apresentam pouca matéria orgânica, porém, são argilosos, altamente plásticos e com pH elevado. Os autores afirmam que a matéria orgânica, apesar de pouca quantidade, exerce influência nas

características geotécnicas do solo, como na compressibilidade e na capacidade de suporte, bem como nos limites de liquidez e plasticidade.

Já no Vietnã, na cidade de Hanoi, os estudos apontam que a salinidade tem forte influência sobre as propriedades geotécnicas dos solos moles, até mesmo em sua composição mineralógica, e que o sal presente na água determina se a argila será sensível ou não, bem como influencia no grau de compressibilidade e na condutividade hidráulica (KIROV, TRUC, 2011).

Embora na literatura geotécnica se encontre muitos trabalhos sobre solos moles, percebeu-se que estes não apresentam um padrão na sua constituição, ou seja, a concentração de seus constituintes é muito variante, o que torna difícil definir elementos que favoreçam sua ocorrência. Porém, identificou-se que a presença de argilominerais 2:1 e de matéria orgânica são primordiais, pois estes elementos irão influenciar diretamente no limite de liquidez e no índice de plasticidade que, por sua vez, exercem grande influência na compressibilidade do solo (Quadros 3 e 4).

Quadro 3: Características Geotécnicas de solos moles no Brasil.

Classe de solos (SiBCS, 2013)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Matéria Orgânica (%)	Índice de Compressão (%)	Índice de Plasticidade (%)	Limite de Liquidez (%)	Minerais Predominantes	Outras informações Relevantes	Localidade e Referência
Argiloso	65	25	10	-	-	70	90		Classificou o depósito estudado como argila siltosa.	Recife (OLIVEIRA, 1991)
Argiloso*	-	-	-	-	-	46	117		Material classificado como argilas a argilas siltosas.	Rodovia BA 685 (SILVA, 2008)
Argissolo*	-	-	-	0,30 – 0,50	-	100	-		O autor identificou que a área em estudo apresenta alta compressibilidade, porém não traz as porcentagens dos materiais analisados.	Rio de Janeiro, (NASCIMENTO, 2009)
Argissolo*	23-93	4-36	1-3	59,7-6,16	0,35-,057	95-308	147-521		Argilas com extra sensibilidade. Alta compressibilidade	Rio de Janeiro (BARONI, 2010)
Argissolo*	61,4	37,7	0,9	6,8-7,05	3	58,2	102,5	esmectita do grupo da montmorilonita e vermiculita.		Macaé-RJ (PÓVOA, 2016)
Argissolo*	-	-	-	-	0,8-1,8	-	-	-	Material constituído de argila orgânica siltosa. UTM 715250E, 7078750N,	Joinville-Santa Catarina (POSSAMAI, 2016)
Cambissolo	35	34	31	6,6	1,51	85	113,7	caulinita, esmectita e illita.	Argila de alta plasticidade.	Baixada Fluminense, RJ (SPANNENBERG, 2003)
Cambissolo	-	-	-	-	1,65- 2,43	33-73	86-161	caulinita, esmectita e illita.	Estudo realizado na mesma área de Spannberg (2003).	Baixada Fluminense, RJ (FORMIGHERI, 2003)

Cont...										
Cambissolo	20	80	-	-	-	30	50		Profundos perfis de solos moles composto por Solos Orgânicos e Gleissolos de substrato de sedimentos quaternários.	Tubarão-SC (HIGASHI, 2006)
Espossolo*	64	32	4	-	-	19-35	41-71		O Índice de consistência maior que zero revela que esse depósito é muito mole.	BR 101-PE (MACHADO, 2012)
Gleissolo	53,1	45,6	1,3	6,03	-	41,3	85,2	clorita, caulinita, ilita, mica, quartzo e feldspato	Argila siltosa mole a muito mole e alta compressibilidade. 00°03'22" e 00°03'27" de latitudes sul e 51°10'50" e 51°11'04"	Amapá (BARRETO, 2015)
Gleissolo	30-66	-	-	-	-	53-103	80-134		Argila orgânica mole a muito mole.	Guaratiba-RJ (MARQUES et al., 2016)
Gleissolo*	-	-	-	-	-	18	30-44			Belém (SAMPAIO, 2010)
Gleissolo*	-	-	-	-	1,4	25	90		Duplicação da Rodovia Br 135 e Ferrovia Transnordestina.	Campos de Perizes, MA (MACEDO; RODRIGUES, 2014)
Gleissolo*	73,6	7,3	19,1	-	-	-	-	-	Argila orgânica de consistência mole a muito mole	Belém (FREITAS et al., 2016)
Latossolo*	-	-	-	-	-	-	-	-	Material constituído por argilas orgânicas, silte areias finas e restos orgânicos. Classificado como muito mole.	Recife-PE (Porto de Suape) (DOMINONI, 2011)
Latossolo	-	40	-	-	2,43	6,6-14,9	52,8-58,8		O solo mole ocorre sobreposto a solos de alteração de granito	BR 381- MG, (PERBONI, 2003)

Cont...									areno-siltosos, pouco micáceos e medianamente compactos.	
Neossolo*	12-19	19,6-67,6	-	2,8-62		20-54	38-87	caulinita, ilita e montmorilonita.	Os solos foram classificados como argilas muito compressíveis e areias argilosas.	Florianópolis (ESPÍNDOLA, 2011)
Nitossolo*	9	6	85	-	0,57	6	26		Material classificado como muito mole. 29° 32' 07" S 50° 00' 48" W	Porto Alegre- RS (BERTUOL, 2010)
Planossolo*	36,7-64,6	32,2-47,1	2,9-33,3	1,2-4,13	1,12 – 1,96	25-77	56-121	caulinita, esmectita, ilita, clorita.	Depósito classificado com silte argiloso.	Santa Cruz-RJ (CAMPOS, 2006)
Planossolo*	-	-	-	1,3-15,8	0,80	40	70		Classificado como material de consistência mole.	Itaguaí-RJ (QUEIROZ, 2013)
	>50	-	-	-	10				Consistência muito mole e mole	São Paulo (MASSAD, 2003)
	77	20	3	4,1-6,4		105,4	158,2	argilominerais caulíníticos e ilita	Argila siltosa, areia média e grossa pouco argilosa.	Rio de Janeiro, (JANNUZZI, 2009)
	-	-	-	-	0,21	-	-	-	Estudo em área do Rodoanel Trecho Sul próximo a interligação com a Rodovia dos Imigrantes. A autora classificou como material de consistência muito mole (argila orgânica). Entretanto, no trabalho não traz as porcentagens.	São Paulo, (NOGUEIRA, 2010)
	47-66	-	-	7 -11	-	53-106	99-150			Rio das Ostras (LIMA, 2012)

*De acordo as coordenadas geográficas plotadas no mapa de solos 1:5.000.000 (SANTOS et al. (2011). Fonte: Organizado pelo (2018).

Quadro 4: Características de solos moles (Soft Soils) em algumas partes do mundo.

Localidade e Referência	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Índice de Compressão (%)	Índice de Plasticidade (%)	Limite de Liquidez (%)	pH	Mineral predominante
Batu Pahat, Malásia (CHAN; IBRAHIM, 2008)	10,8	79,5	10,7	-	46	77	-	-
Helsinki University of Technology, Finlândia (HASSAN; RAVASKA, 2009)	81	-	-	-	41	71	7	-
Kuopio, Finlândia (HASSAN; RAVASKA, 2009)	-	-	-	-	25	51	5,2	-
Leppävaara, Finlândia (HASSAN; RAVASKA, 2009)	-	-	-	-	-	185	4,4	-
Hanoi, Vietnã (KIROV; TRUC, 2011)	-	-	-	10,83	-	-	-	Ilita, Caulinita, Monimonimolita, chlorite
Ottawa, Eastern Canada, (NADIR, 2014)	-	-	-	2,44	27	19 – 80,8	-	-

Fonte: Organizado pelo autor (2018).

Observa-se que as informações são bem dispersas e não há uma padronização geral de todas as análises a serem realizadas para classificação dos solos moles. Contudo, de forma geral, identifica-se a presença de minerais expansivos 2:1, como as esmectitas e a presença de illita, que embora não seja expansiva, está associada à presença de depósitos sedimentares, solos orgânicos e hidromórficos.

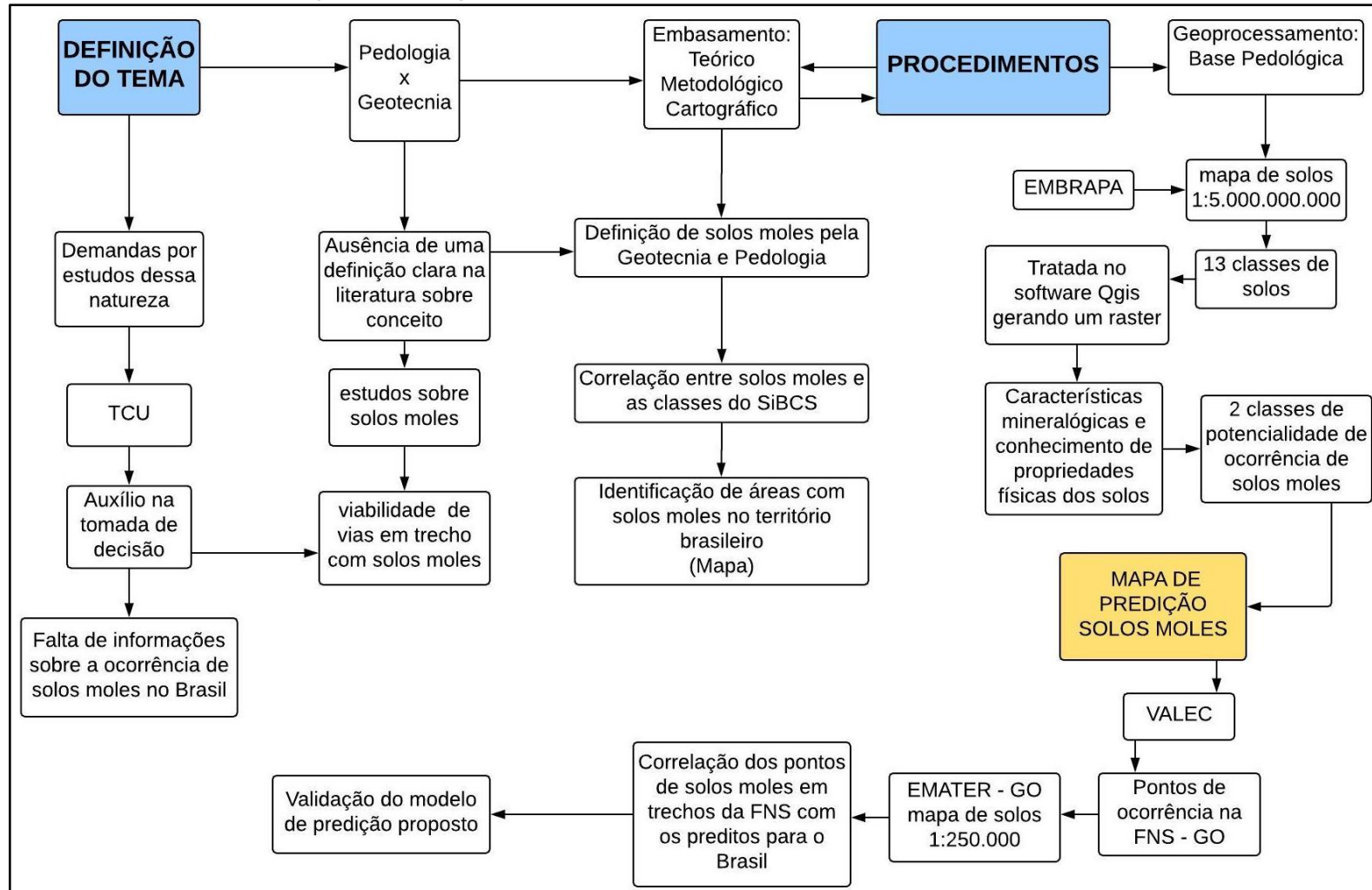
5. MATERIAIS E MÉTODOS

Durante a revisão de literatura foi realizado levantamento de referências disponíveis em formatos de artigos científicos, relatórios técnicos, dissertações e teses. Nestes buscou-se as informações acerca das características dos solos moles no Brasil e no mundo e a sua localização no território brasileiro com a finalidade de localizar pontos de convergência que condicionassem a ocorrência de solos moles. A figura 5 traz as etapas do desenvolvimento da pesquisa.

Primeiramente, partiu-se da carência de estudos dessa natureza para apoio na tomada de decisão por parte dos órgãos fiscalizadores de obras de infraestrutura no país. Nesse âmbito houve o primeiro entrave, a dicotomia entre as definições e conceitos de solos para pedologia e para a geotecnia. Neste momento, a revisão de literatura foi de fundamental importância para criar um elo entre essas duas áreas do conhecimento com relação ao conceito de solo, fazendo a correlação entre os tipos solos definidos na geotecnia com as treze classes de solos do Sistema Brasileira de Classificação de Solos. Através da plotagem de pontos de estudos sobre solos moles no território brasileiro foi possível especializar essa distribuição gerando um mapa.

A partir dessas informações e dos conhecimentos das características principais das Classes de solos, em nível de Ordem (1º nível categórico do SiBCS), baseados em Santos et al. (2013), elaborou-se uma Chave de Classificação de Potencialidade de Ocorrência de Solos Moles. Buscou-se identificar as características dos solos moles pela geotecnia e correlacionar estas com as características das classes de solos do SiBCS. Cumpre evidenciar que esta chave é um dos principais produtos desta dissertação e será apresentada nos resultados juntamente com os mapas de predição gerados.

Figura 5: Fluxograma das etapas de desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Organizado pelo autor (2018).

Para tanto, foram analisadas as classes de solos do primeiro nível categórico com base nas suas características físicas, químicas e mineralógicas, sendo estas agrupadas em duas categorias de potencialidade de ocorrência de solos moles. Após isso, foi utilizado o Mapa de Solos do Brasil (SANTOS et al., 2013), na escala de 1: 5.000.000 para reclassificar as Classes de Solos, em primeiro nível categórico, quanto à potencialidade de ocorrência dos solos moles para o território brasileiro e o mesmo para o mapa de solos do Estado de Goiás na escala de 1:250.000 (EMATER, 2016).

Após esta etapa, foi aplicada a chave de classificação para elaboração do Mapa de Potencial de Ocorrência de Solos Moles para o Estado de Goiás utilizando o mapa de solos em escala de 1:250.000 (EMATER, 2016). Para validação do mapa foram utilizadas informações de ocorrência de solos moles georreferenciadas cedidos pelo TCU e pela VALEC para o trecho da Ferrovia Norte-Sul localizada que corta os municípios de São Simão e Quirinópolis-GO. No total foram utilizados 1.470 de validação (em anexo).

Todo o processamento dos dados e a elaboração dos mapas foram realizados no *software* livre QGis 2.18.13 (QGISBRASIL, 2017). Os arquivos da base de solos do Brasil e do Estado de Goiás foram convertidos para o Sistema de Coordenadas Geográficas no *datum* SIRGAS 2000. Em seguida, foram convertidas para o formato *Raster*, onde foram categorizados nas duas classes definidas na chave. Através da calculadora de campo do *software* QGIS 2.18.13, criou-se uma tabela com os valores de áreas para as duas classes, as tabelas foram exportadas para uma planilha eletrônica no formato *xlsx* (Excel).

Para a correlação, foi utilizado o arquivo de potencialidade de ocorrências de solos moles no estado de Goiás e realizou-se um recorte do Estado de Goiás a partir dos dados de solos do Brasil. Em seguida, através da ferramenta interseção, que une elementos comuns nos dois arquivos, foi gerado o arquivo de correlação.

É importante relatar que o processamento foi desenvolvido utilizando-se a projeção cartográfica policônica, pois permite enquadrar todo o território brasileiro em uma representação cartesiana com medidas lineares, necessária para a amplitude pretendida para o produto final desse trabalho. Vale destacar também que esta projeção é a mesma usada para o mapeamento oficial do Brasil (IBGE, 2018; CSR, 2018).

Dessa forma, como o modelo proposto nesta dissertação engloba todo o território brasileiro, depois de várias tentativas com outras projeções verificou-se que a policônica é a que melhor se adapta ao Brasil, pois há uma diminuição da deformação da convergência dos meridianos e, assim uma melhor representação da região sul do país. Vale destacar também que esta projeção é a mesma usada para o mapeamento oficial do Brasil.

A elaboração do modelo aqui proposto se utilizou do método indutivo, o qual prevê resultados a partir das observações e das experiências, ou seja, é uma questão de generalização provável (LAKATO; MARCONI, 2000). Nesse sentido, o método indutivo requer que o pesquisador observe a relação sistêmica entre os fenômenos estudados, que no caso desta dissertação é o comportamento dos solos. E, a partir de suas observações o pesquisador pode propor classificações agrupando fenômenos semelhantes.

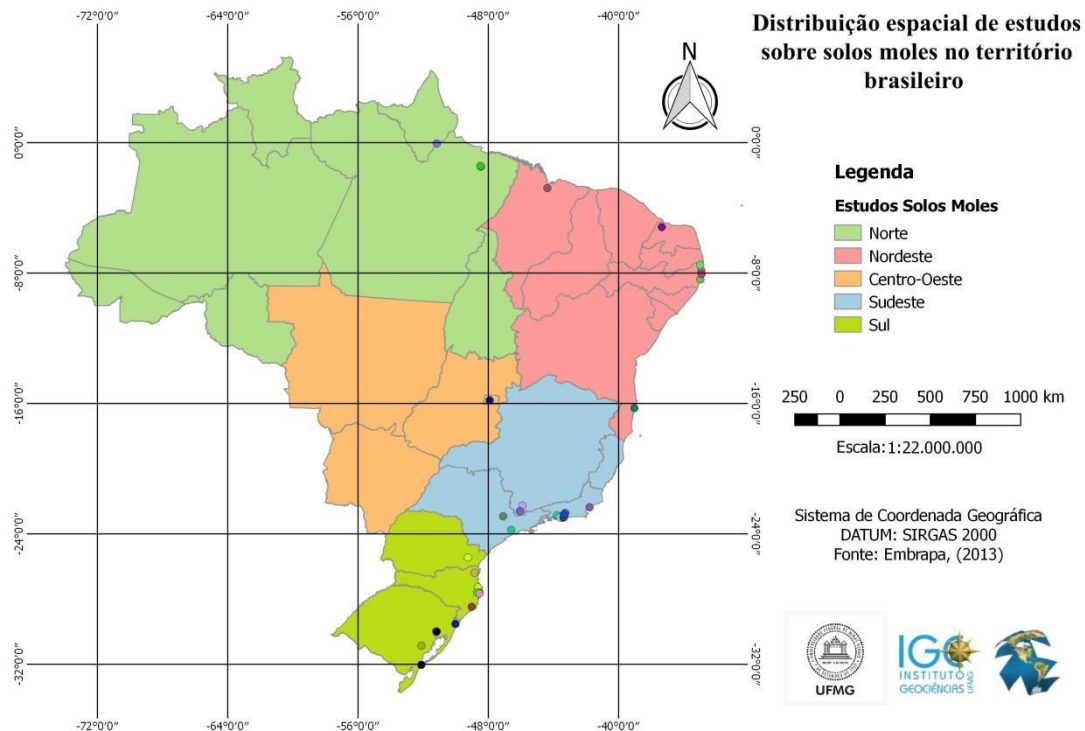
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para compreender as principais características encontradas nos solos moles foi realizado um levantamento das características geotécnicas de depósitos moles no Brasil e em algumas partes do mundo apontadas em diferentes trabalhos publicados em periódicos científicos. Para os trabalhos onde não havia informações acerca da Classe de solos, a partir das coordenadas geográficas descritas nos trabalhos, plotou-se os pontos de solos moles no mapa de solos do Brasil (EMBRAPA, 2013) em escala de 1:5.000.000 e atribuiu a estes pontos a classificação de solos identificada no mapa.

Foi observada a espacialização das informações encontradas no território brasileiro (Figura 6). Ficou constatado que as informações existentes concentram-se nas regiões sul e sudeste do país, destaque para Rio de Janeiro, São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e no Nordeste para Região Metropolitana do Recife. Este fato está diretamente relacionado à instalação de grandes obras de infraestrutura nessas regiões, sejam estradas, portos, aeroportos e instalação de indústrias. Observa-se também um grande vazio de pesquisas relacionadas ao comportamento de solos moles no restante do território. Isso, porém, não significa dizer necessariamente que nas demais áreas não existam depósitos moles, mas sim releva a ausência de investimentos para pesquisas dessa natureza nestas áreas.

Essa ausência em pesquisas sobre solos moles no interior do Brasil é em decorrência, principalmente, das demais regiões não serem vistas como potenciais áreas para o desenvolvimento econômico e, conseqüentemente, onde os investimentos em estradas não foram priorizados. Entretanto, este cenário vem se transformando com a descentralização dos polos econômicos, sobretudo, com o advento do agronegócio nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, que tem proporcionado a instalação de rodovias e ferrovias integrando o todo o território nacional.

Figura 6: Distribuição espacial de estudos sobre depósitos de solos moles no Brasil.



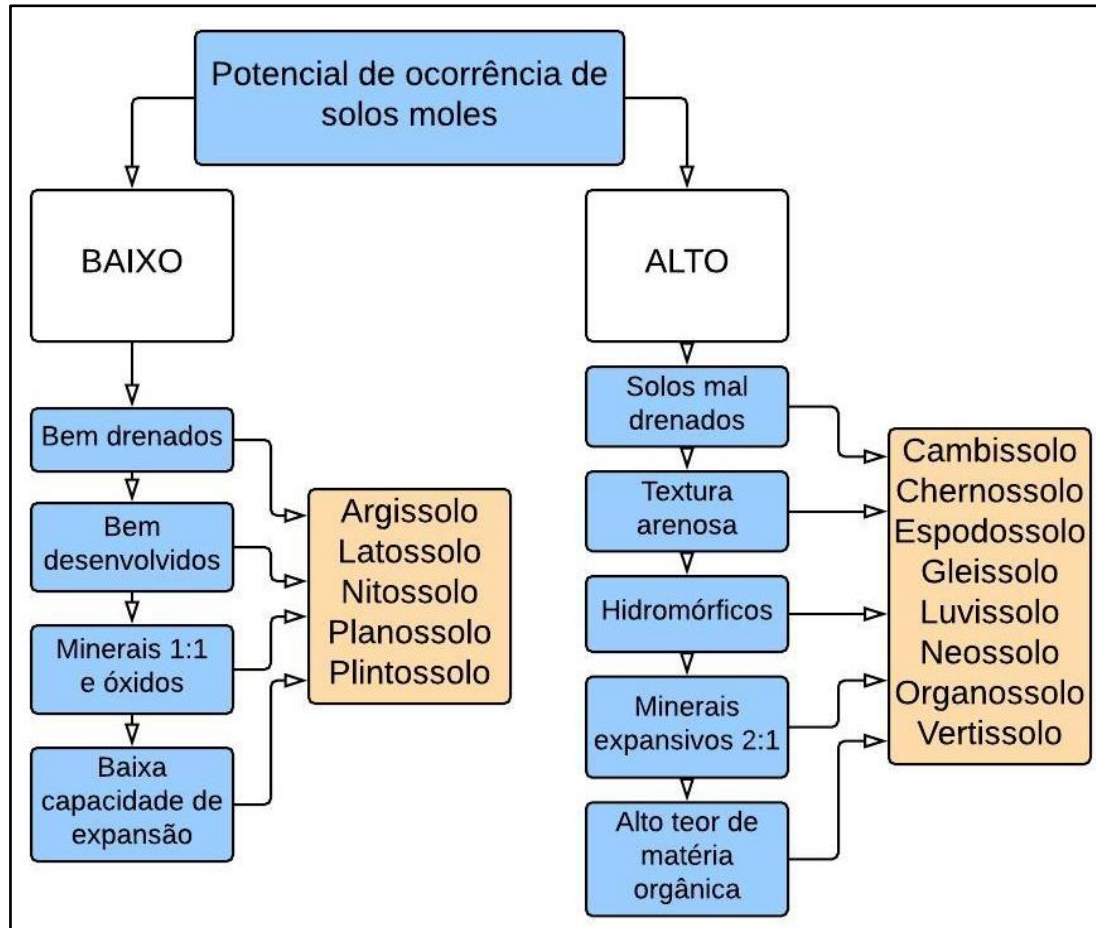
Fonte: Organizado pelo autor (2018).

No Brasil, nas últimas décadas, tem ocorrido investimentos para melhorar a rede viária das regiões Norte e Nordeste, bem como para incentivar a instalação de indústrias nestas regiões. Com isso, as pesquisas sobre a ocorrência de solos moles em todo o território brasileiro tornam-se imprescindíveis. Dessa forma, a elaboração de um mapa preliminar de predição da ocorrência de solos moles para o território brasileiro pode contribuir no planejamento de projetos, sobretudo, no caso de construção de estradas. Através da elaboração do mapa proposto nesta dissertação será possível antecipar soluções para a problemática encontrada em obras do modal de transporte referentes à ocorrência de solos moles.

Foram definidas duas classes de Potencial de Ocorrência de Solos Moles, *a priori*, Baixo e Alto potencialidade de ocorrência (Figura 7). Foram consideradas para a chave somente as características dos solos, excluindo aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrográficos, devido à grande complexidade do território brasileiro, pois o mapeamento que se pretende nesta pesquisa é a nível de Brasil e demandaria mais tempo e coleta de amostra em

campo. Entretanto, considera-se que os aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrográficos podem ser adicionados futuramente para alimentar o modelo.

Figura 7: Chave de Classificação da Potencialidade de Ocorrência de Solos Moles no Brasil.



Fonte: Organizado pelo autor (2018).

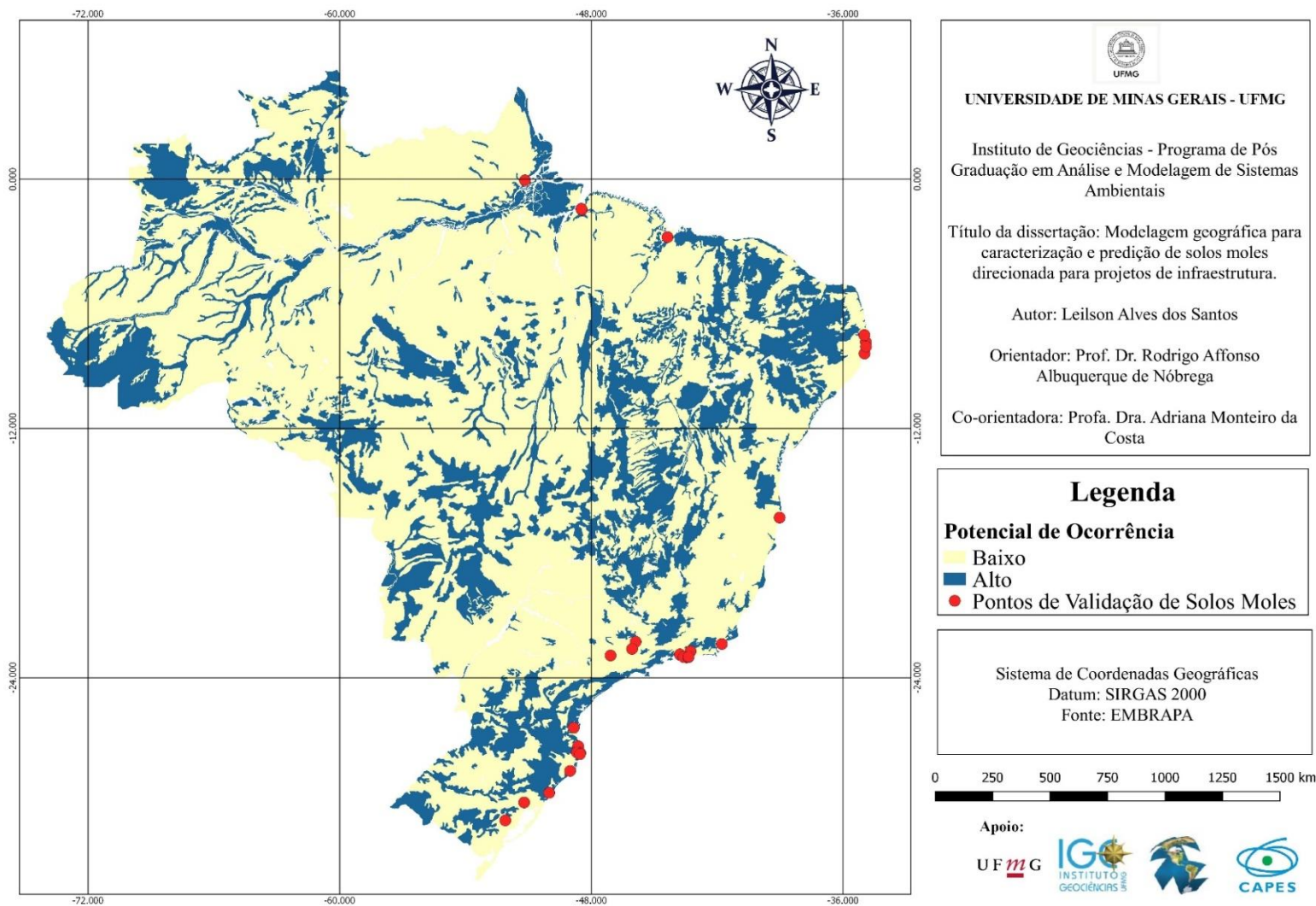
A classe de Baixo potencial foi representada pelos solos bem desenvolvidos, solos profundos, bem drenados com predomínio de minerais do tipo 1:1, como a caulinita e minerais oxídicos. São solos que apresentam maior estabilidade física, com ausência de processos de expansão e contração dos solos, o que possibilita o maior uso destes solos para obras de engenharia. Compreende as classes dos Latossolos, Argissolos e Nitossolos. Incluíram-se nesse íterim os solos que apresentam horizonte B plânico, com mudança textural abrupta e alta resistência à penetração, representados pela classe dos Planossolos, e solos com horizonte B plíntico, com presença de plintita e alta estabilidade física, representados pela classe dos Plintossolos.

Na classe de Alto Potencial estão os solos hidromórficos, os com alto teor de matéria orgânica, presença de minerais primários, com minerais do tipo 2:1 expansivos e os solos arenosos, além de solos facilmente intemperizáveis, poucos evoluídos e susceptíveis à deformação e compressibilidade (ANTUNES et al., 2013).

Os solos desta classe são representados pelos Cambissolos e Chernossolos, que são solos poucos desenvolvidos, com baixa profundidade efetiva e alto teor de silte, que confere baixa estabilidade física e que normalmente depende do material de origem. Eles apresentam, ainda, minerais primários como os Chernossolos com horizonte A espesso, rico em matéria orgânica e com alta saturação por bases; os Espodossolos, que são solos na maioria arenosos, com baixa estabilidade física; Gleissolos hidromórficos; os Luvisolos, que apresentam minerais primários e argila de alta atividade; os Neossolos, que se constituem solos de baixa evolução pedogenética, rasos e/ou arenosos; os Organossolos, que são solos pouco evoluídos constituídos por materiais orgânicos na maioria mal drenados; e os Vertissolos, com horizonte vértico que confere características de expansão e contração devido à presença de minerais primários do tipo 2:1 expansivos e, conseqüentemente, baixa estabilidade física.

Utilizou-se o mapa de solos do Brasil na escala de 1:5.000.000.000 (SANTOS et al., 2013), que foi processado com uso do *software* livre Qgis 2.18.20. Após reclassificar as classes gerou-se o *raster* com pixel de 250 metros, o que deu origem aos níveis de potencialidade de ocorrência de solos moles no território brasileiro. O mapa de Potencial de Ocorrência de Solos Moles após aplicação da chave de classificação descrita na figura 7 é apresentado na Figura 8, e a porcentagem destas no território na Tabela 4.

Figura 8: Mapa Potencialidade de Ocorrência de Solos Moles no Brasil.



Fonte: Organizado pelo autor (2018).

A classe predita de Baixo Potencial de ocorrência de solos moles representou 69% do território brasileiro, enquanto a classe Alto Potencial representa 29% e 2% corresponde a locais onde não há informações no mapa de solos - fator este que não permite estimar o potencial (tabela 4).

Tabela 4: Porcentagem das classes preditas de solos moles para o Brasil.

Potencial de ocorrências de solos moles	Milhões km²	%
Baixo	6.075.627	69
Alto	2.524.342	29
Sem informações	176.965	2
Total	8.776.935	100%

Fonte: Organizado pelo autor (2018).

Embora tenham sido definidas somente duas classes de potencialidade de ocorrência de solos moles na tabela 4, apresenta-se a porcentagem das áreas que não dispõem de informações.

A distribuição das classes de solos em cada Potencial de Ocorrência está representada na Tabela 5. A classe de maior ocorrência no território brasileiro é a dos Latossolos, correspondente a 33%, seguida pelos Argissolos (19%), que somadas representam 52% do território.

Tabela 5: Participação dos solos na predição das áreas de solos moles.

Classes de Solos	Potencial	Milhões km²	Percentual
Espodossolo	Alto	170.895,71	2%
Planossolo	Baixo	241.452,84	3%
Luvissolo	Alto	246.547,78	3%
Organossolo	Alto	2.483,33	0%
Latossolos	Baixo	2.774.267,63	32%
Vertissolos	Alto	18.773,33	0%
Plintossolos	Baixo	601.140,62	7%
Afloramentos de Rochas	-----	11.140,41	0%
AGUA	-----	160.999,49	2%
Dunas	-----	4.825,46	0%
Argissolos	Baixo	2.354.108,74	27%
Chernossolos	Alto	39.682,77	0%
Nitossolos	Baixo	104.657,65	1%
Cambissolos	Alto	476.156,67	5%
Neossolos	Alto	1.165.675,87	13%
Gleissolos	Alto	404.126,59	5%
Total		8.776.935	100%

Fonte: Organizado pelo autor (2018).

Deve-se ressaltar que a escala do mapa utilizada é muito pequena e não permite uma riqueza de detalhes para uma interpretação mais apurada, sendo, portanto, um indicativo da ocorrência dessas classes de solo. Dessa forma, a distribuição das classes no território pode estar sendo superestimada ou subestimada, tendo em vista que a escala do mapeamento é muito generalizada.

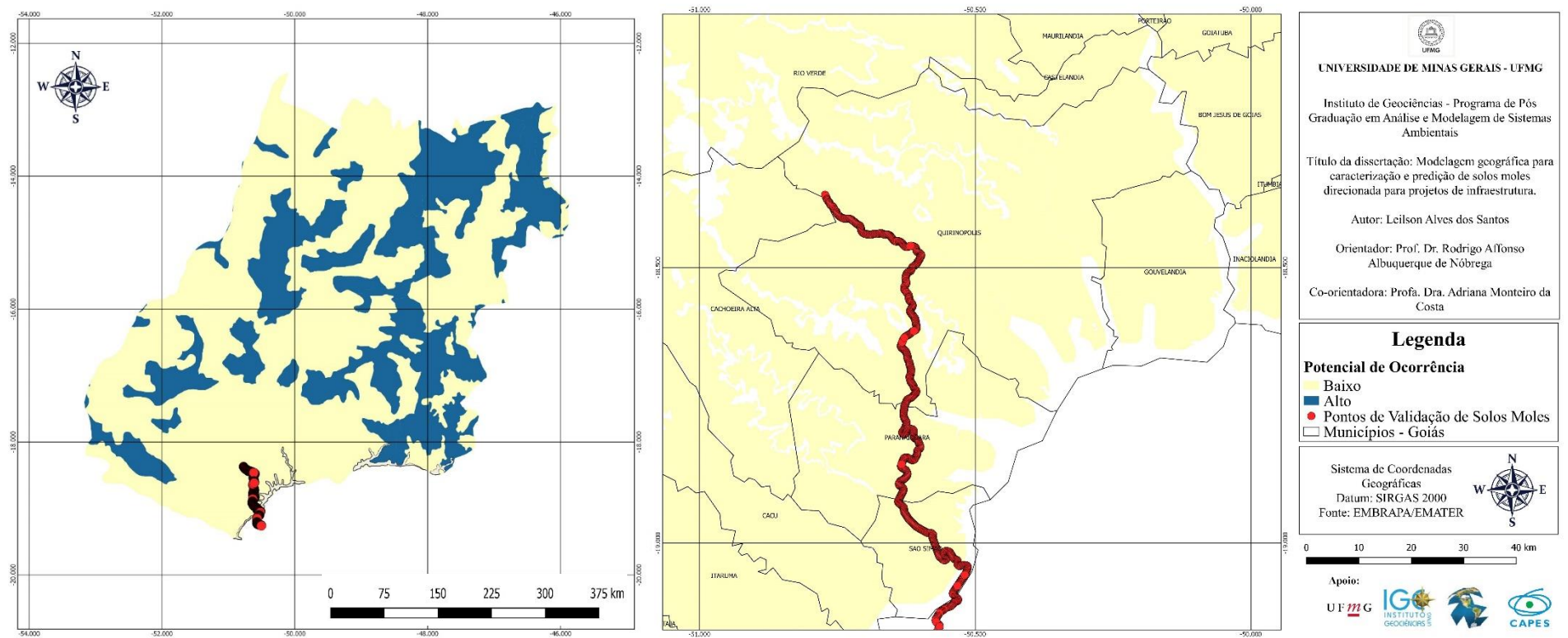
Os mapas de potencial de ocorrências de solos moles para o trecho da Ferrovia Norte-Sul no estado de Goiás, na escala de 1:5.000.000.000 e 1:250.000⁶ são apresentados, respectivamente, nas figuras 9⁷ e 10.

Quando plotado nos mapas, os pontos de ocorrência de solos moles na Ferrovia Norte-Sul, cedidos pela Valec, no trecho entre os municípios de São Simão e Quirinópolis, permitem observar que no mapa gerado a partir da base da EMATER os pontos alternam entre as classes de alta e baixa potencialidade. Já no mapa gerado a partir da base de dados mais detalhada os pontos caem totalmente na área de baixa potencialidade. Este fato está associado ao nível de detalhamento de ambas as bases. Por essa razão, se faz necessário o uso de escala com maior número de detalhe possível para este tipo de mapeamento.

⁶ O mapeamento de solos exige um nível de detalhamento muito grande e por essa razão resolveu-se utilizar a base de dados de solos da EMATER para o Estado de Goiás na escala de 1:250.000, tendo em vista que não existe mapeamento a esse nível de detalhe para o território brasileiro.

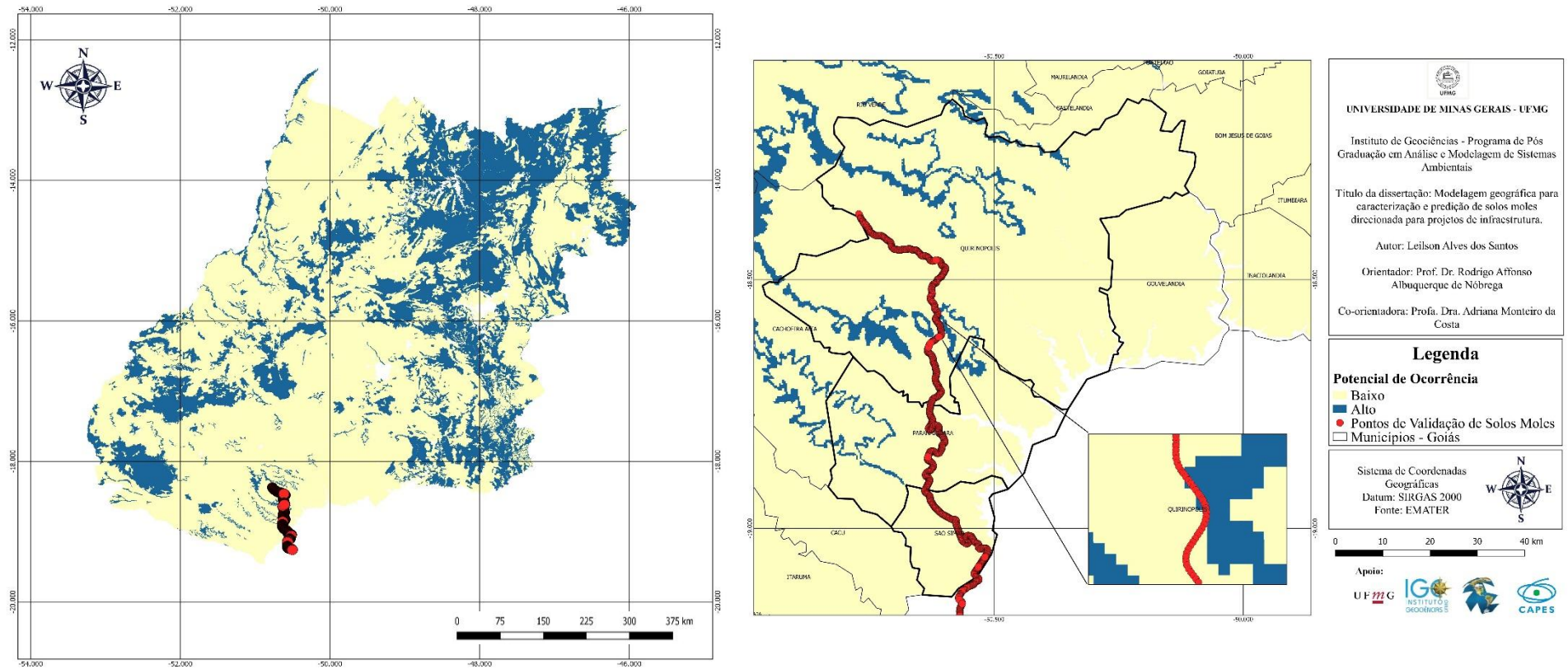
⁷ A figura 9 representa o mapa de potencialidade da ocorrência de solos moles no território de Goiás a partir da base de dados da Embrapa na escala de 1: 5.000.000.000. Nela não é possível ter um bom nível de detalhes, pois, para isto, é necessário o mapeamento de solos.

Figura 9: Potencial de ocorrência de solos moles em um trecho da Ferrovia Norte-Sul no Estado de Goiás – escala de 1:5.000.000.



Fonte: Organizado pelo autor (2018).

Figura 10: Potencial de ocorrência de solos moles em um trecho da Ferrovia Norte-Sul entre os municípios de São Simão e Quirinópolis – Estado de Goiás, na escala de 1:250.000



Fonte: Organizado pelo autor (2018).

As classes previstas para o Estado de Goiás geradas a partir da base de dados da EMATER se aproximam das encontradas para o Brasil, sendo que classe de baixo potencial de ocorrência de solos moles representa 68%, enquanto que o Alto representa 30% (tabela 6).

Tabela 6: Porcentagem das classes previstas de solos moles para Goiás.

Mapa	Potencial de ocorrência de solos moles (milhões de Km ²)					
	Baixo		Alto		Outros	
	Área	%	Área	%	Área	%
1: 5.000.000	242.255,68	67	117.089,14	32	2.384,60	1
1: 250.000	233.970,00	68	105.203,94	30	6.924,66	2

Fonte: Organizado pelo autor (2018).

A escala ainda não é suficiente para representar o nível de detalhes, ou seja, 250.000 ainda é uma escala com pouca riqueza de detalhes, para os solos deveria ter mapas em escalas maiores, como por exemplo, 1:10.000 ou 1:25.000.

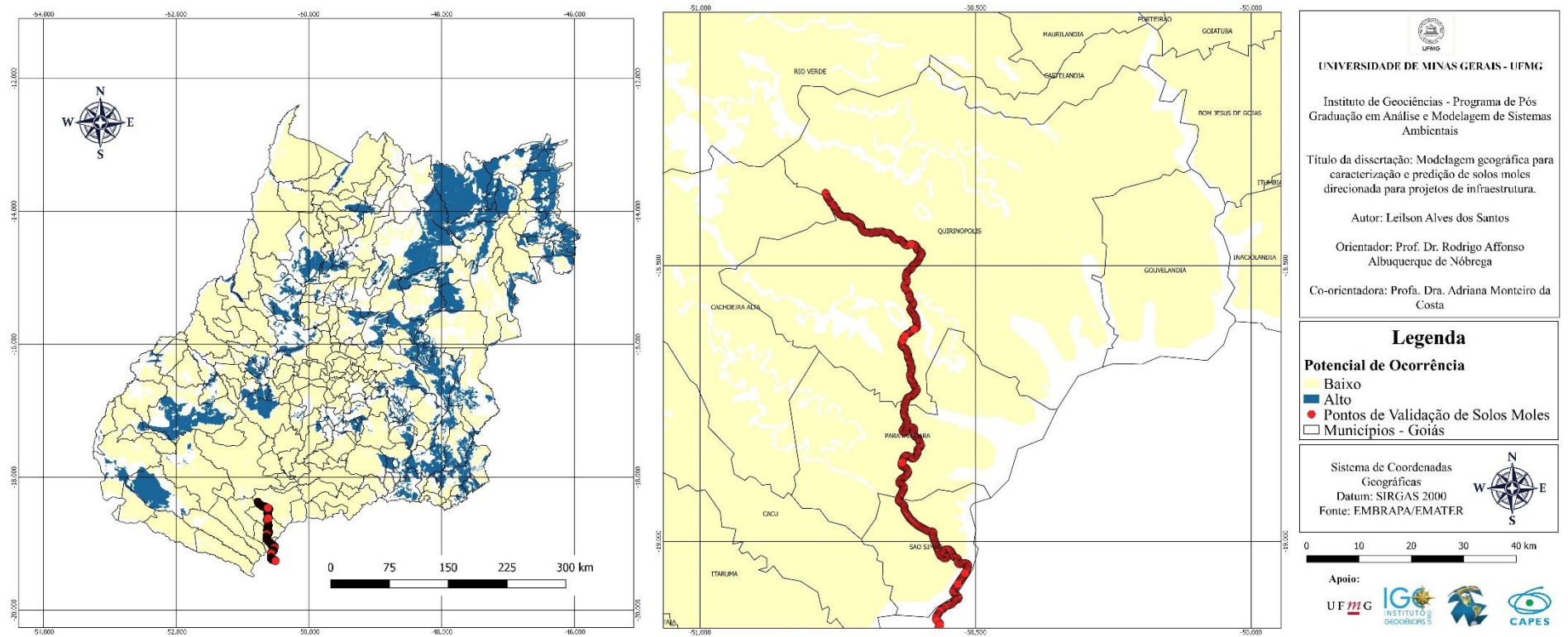
Após a identificação das classes previstas de ocorrências de solos moles para o território brasileiro e validada com as classes geradas para o Estado de Goiás a partir dos pontos da Ferrovia Norte-Sul no trecho entre os municípios de São Simão e Quirinópolis, foi feita a correlação entre os dois mapas, ou seja, foram cruzados para verificar a porcentagem de correlação (tabela 7 e Figura 11).

Tabela 7: Correlação entre as classes de solos moles previstas e validação de campo.

Potencial de ocorrências de solos moles	Área (milhões km ²)	%
Baixo	171.331	50
Alto	59.247	17
Áreas não correlacionadas	115.521	33
Total	346.098,60	100 %

Fonte: Organizado pelo autor (2018).

Figura 11: Correlação das classes previstas.



Fonte: Organizado pelo autor (2018).

7. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Os projetos de planejamento e infraestrutura de transportes demandam um enorme arcabouço de dados de ordem ambiental, física e estrutural para compor a base de variáveis para o processo de tomada de decisão. Contudo, nem sempre os dados existem ou são de fácil interpretação por parte dos interessados. Na perspectiva físico-ambiental, um dos dados de extrema relevância para analisar a viabilidade de projetos é presença de “solos moles” na região de interesse. Solos moles, ou simplesmente solos compressíveis, são caracterizados pela capacidade de suporte inferior ao demandado em projetos viários. O grande problema ocasionado pelo dimensionamento incorreto de projetos viários sobre depósitos moles é a deformação ou rompimento da infraestrutura, fato infelizmente comum no cenário brasileiro.

No levantamento bibliográfico realizado nesta dissertação verificou-se que não existe um padrão definido, seja da ordem mineralógica, química ou física das propriedades dos solos, que os configure como solos moles. Porém, observou-se que algumas características são inerentes às áreas onde estão presentes tais depósitos como: presença de argilomineral expansivos 2:1, presença significativa de matéria orgânica, solos hidromórficos e textura arenosa.

Assim, o mapa de classes previstas de ocorrência de solos mole para o território brasileiro foi elaborado a partir da aglomeração e semelhança das principais propriedades químicas e físicas dos solos. Neste mapa verificou-se que em 34% do território brasileiro existem áreas propícias à ocorrência de solos moles - áreas estas que se correlacionam com locais onde foram realizados diversos trabalhos para entender o comportamento desses depósitos sedimentares.

Embora a escala de 1:5.000.000 trabalhada não tenha permitido alcançar grandes detalhes, o modelo (chaveamento das características pedológicas e geotécnicas para definição de solos moles) foi aplicado para o estado de Goiás em escala 1:250.000, conseqüentemente com maior nível de detalhes. Com isso, foi possível perceber a correlação significativa entre o resultado apontando as áreas com alto e baixo potencial de ocorrência de solos moles e os pontos utilizados para sua validação.

Entretanto, este primeiro modelo não considerou algumas características que podem contribuir para melhores resultados, como, por exemplo, a geologia,

geomorfologia e hidrografia. Isto se deve à questão da escala trabalhada, uma vez que foi levantado para todo o território brasileiro. Recomenda-se que, para trabalhos futuros em escala dessa magnitude, sejam considerados tais elementos, bem como a realização de observações de campo e análises de material em laboratório. Em suma, este protótipo vem preencher uma lacuna nos estudos sobre solos moles no território brasileiro, porém, recomenda-se, ainda, que para os projetos de infraestrutura seja utilizada uma escala com maior nível de detalhes.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7250**: identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro, 1982.

ABRÃO, S. F. **Alterações físicas e químicas de um Cambissolo húmico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes rotações**. 95f. 2011. (Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

ALMEIDA, M. S. S; MARQUES, M. E S. **Aterros sobre solos moles: projeto e desempenho**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

ANTUNES, F. S.; CAMPOS, T. M. P.; POLIVANOV, H.; CALDERANO, S. B.; ANDRADE, A, G. Desenvolvimento de classes e unidades geo-pedológicas a partir da interação entre a pedologia e a geotecnia. **Geotecnia**, n. 127, 2013.

BACHION, M. L. **Mapeamento Geotécnico da Área Urbana e de Expansão da Região Metropolitana de Campinas, Escala 1:25000**. 1997. 1997. (Dissertação de mestrado). EESC/USP, São Carlos-SP, 1997.

BARONI. M. **Investigação geotécnica em argilas orgânicas muito compressíveis em depósitos da Barra da Tijuca**. 249f. 2010. (Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil- COPPE). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

BARREIROS, M. A. F. Reflexões sobre o parcelamento do solo urbano. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**. BT/PCC/201. São Paulo, 1998.

BERNARDES, R. S. **Condutividade hidráulica de três solos da região Norte Fluminense**. 80f. 2005. (Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2005.

BERTUOL, F. **Caracterização geotécnica da sensibilidade de um depósito sedimentar do Rio Grande do Sul com o uso de laboratório**. 176f. 2009. (Dissertação de Mestrado Escola de Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

BETIM, L. S. **Caracterização da condutividade hidráulica dos solos e estudo da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do Córrego Palmital – Viçosa/MG**. 186f. 2013. (Dissertação de Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa, 2013.

BIELSCHOWSKY, C; BARBOSA, A. C; ALVES, LUANA; SILVA JÚNIOR, G. C. Determinação da condutividade hidráulica saturada de campo em solos com diferentes texturas utilizando o método do Permeâmetro IAC. **Caderno de Estudos Geoambientais – CADEGEO**, 2012.

BOSCH, R. V. D. A new era for soil mapping. **ISRIC – World Soil Information**. 2016. Disponível em: [http://www.isric.org/sites/default/files/A_new_era_for_soil_mapping_\(Adjacent_Government_9_\(February_edition\)\).pdf](http://www.isric.org/sites/default/files/A_new_era_for_soil_mapping_(Adjacent_Government_9_(February_edition)).pdf) Acesso em: 25 de março de 2017.

CAMPOS, F. R. **A influência da ferrovia Norte-Sul no desenvolvimento regional do território goiano**. 159f. 2015. (Tese de Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Goiás, 2015.

CARVALHO, C. C. N.; NUNES, F. C.; ANTUNES, M. A. H. Histórico do levantamento de solos no Brasil: da industrialização brasileira à era da informação. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 5, 2103.

CAVALCANTE, E. H. et al. Campos de experimentos brasileiros. **Revista Luso-Brasileira de Geotecnia**. n. 111. Novembro de 2007. Disponível em: <<http://www.spgeotecnia.pt/upload/docs/Revistas%20Geotecnia/Revista%20111.pdf>>. Acesso em: 20. jun. 2017.

CEZAR, E; NANNI, M. R; CHICATI, M. L; SOUZA JÚNIOR, I. G; COSTA, A. C. S. Avaliação e quantificação das frações silte, areia e argila por meio de suas respectivas reflectâncias. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 36, p.1157-1165, 2012.

COSTA, A. M; CURI, N; MENEZES, M. D; ARAÚJO, E. F; MARQUES, J. J. Levantamento detalhado de solos da Microbacia Hidrográfica do Horto Florestal Terra Dura (RS) e considerações sobre escalas de mapeamento. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1272-1279, set./out., 2009.

CSR – CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – UFMG. **Projeções Cartográficas**. Disponível: <http://csr.ufmg.br/cart01/cart01_parte3.pdf> Acesso: 10 mai. 2018.

DEARMAN, W. R.; MATULA, M. Environmental aspects of engineering geological mapping. **Bulletin of Engineering Geology**, n. 14, Krefeld, 1976.

EMATER - Agencia Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária. **Shapefile de solos de Goiás**. 2016. Disponível: <<http://www.sieg.go.gov.br/>> Acesso: 17. mai. 2018.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Shapefile do mapa de solos do Brasil**. Disponível <www.embrapa.br>. Acesso em: 10.nov.2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos)**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1054924/programa-nacional-de-solos-do-brasil-pronasolos>. Acesso em: junho de 2018.

ESPÍNDOLA, Carlos Roberto. **Retrospectiva crítica sobre a pedologia: um repasse bibliográfico**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008.

ESPÍNDOLA, M. S. **Análise dos parâmetros geotécnicos dos solos moles da obra de ampliação do Aeroporto Internacional Hercílio Luz, Florianópolis.** 2011. 213f. 2011. (Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

FERRAZ, C. A. M.; BERBERIN, C. F. Q.; DIAS FILHO, N.; VIEIRA, R. R.T.; NÓBREGA, R. A. A. O uso de geotecnologias como uma nova ferramenta para o controle externo. **Revista do Tribunal de Contas da União**, 2015.

FERREIRA JUNIOR, J. I. ; NOBREGA, R. A. A.; OLIVEIRA, L. K. . Modelagem de dados geográficos para a definição de corredores alternativos para o Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte: Cenários Comparativos / Geographic data modeling to define alternative transport corridors to bypass the Metropolitan Region of Belo Horizonte: comparative scenarios. **Revista do Tribunal de Contas da União**, v. 137, p. 1-10, 2016.

FLACH, C. W.; CORRÊA, E. A. Levantamento de solos no Brasil: métodos, práticas e dificuldades. **Geographia Meridionalis**. v. 03, n. 03, 2017.

FUTAI, M. M. **Considerações sobre a influência do adensamento secundário e do uso de reforços em aterros sobre solos moles.** 197f. 2010. (Tese de livre docência). Departamento de Estruturas e Geotécnica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

GEMAS DO BRASIL. **Origem e formação do solo.** Disponível em: <<http://gemasdobrasil.blogspot.com.br/2016/10/origem-e-formacao-do-solo.html>>. Acesso em: 01. Set. 2017.

GIASSON, E. et al. Avaliação de cinco algoritmos de árvores de decisão e três tipos de modelos digitais de elevação para mapeamento digital de solos a nível semidetalhado na Bacia do Lageado Grande, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 11, nov., 2013.

GUERRA, A. J. T. Degradação dos solos: conceitos e temas. In: Guerra. A. J. T; JORGE, M. M. O. (Orgs.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 15 – p. 50.

HAI, T. Q. Spatial organization for rational land use and environmental protection in Uong Bi Town by functional sub-areas. **VNU Journal of Science**, Earth Sciences, v. 23, p. 88-95, 2007

HASSAN, M. M; RAVASKA, O. **Strength and permeability characteristics of cement stabilized soft finnish clay.** In: KARSTUNEN, M; LEONI, M. (Editors). *Geotechnics of soft soils: Focus on Ground Improvement*. London, UK: Taylor & Francis Group, 2009.

HIGASHI, R. A. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental.** 486f. 2006. (Tese de Doutorado- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área Territorial Brasileira**. DOU n.124 de 30 de junho de 2017. Disponível < https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm> Acesso: 20 mai. 2018.

_____. **Manual Técnico de Pedologia. Manuais técnicos em Geociências**. 2. ed. V. 4. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

_____. **Introdução à cartografia**. Biblioteca do IBGE, 2018. Disponível: < https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv64669_cap2.pdf> Acesso: 1 jun. 2018.

KIROV, B. L; TRUC, N. N. A study on the relationship between geotechnical properties and clay mineral composition of Hanoi soft soils in saline media. **International Journal of Civil Engineering**. v. 10, n. 2, June, 2012.

KONDO, M. K; DIAS JÚNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. n. 23, p. 211-218, 1999.

LACERDA, R. D; GUERRA, H. O. C; ORLANDO, BARROS JÚNIOR, G; CAVALCANTI, M. L. F; BARROS, A. D. Determinação de condutividade hidráulica de um solo argiloso pelo método do perfil instantâneo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 1, 2005.

LAKATO, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia Científica**. 3 ed. Ver. Ampl São Paulo: Altas, 2000.

LENORMAND, M. et al. Comparing and modeling land use organization in cities. **Royal Society Open Science**, The Royal Society, n. 2, p.150449, 2015.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LEPSCH, I. F. **Solos - formação e conservação**. 3 ed. Campinas, SP: Série Prisma Brasil, 1980.

LOPES, E. L. N; FERNANDES, A. R; GRIMALDI, C; RUIVO, M. L. P; RODRIGUES, T. E; SARRAZIN, M. Características químicas de um Gleissolo sob diferentes sistemas de uso, nas margens do rio Guamá, Belém, Pará. **Bol. Mus. Emilio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n.1 p. 127-137, 2006.

MAMAT, R. B. C. **Engeneering properties of Batu Pahat soft clay stabilized with Lime, Cement and Bentonite for subgrade in road construction**. 45f. 2013. (Dissertação de Mestrado – Faculty of Civil and Environmental Engineering). Universiti Tun Hussein Oun Malaysia, 2013.

MARQUES, J. D. O; TEIXEIRA, W. G; REIS, A. M; CRUZ JÚNIOR, O. F; MARTINS, G. C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 2, p. 193-206, 2008.

MARTINS, A. H. C. **Mapeamento geotécnico do Setor Norte do município de Goiânia-GO, em escala 1/25.000.** 145f. 2005 (Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia, 2007.

MAZURANA, M. **Atributos físicos, mineralógicos e matéria orgânica de solos relacionados à capacidade de suporte de carga.** 169f. 2011. (Dissertação de mestrado: Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

MEDRADO, W. A. **Caracterização geotécnica de solo da região norte de Minas Gerais para aplicação de obras rodoviárias.** 141f. 2009. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Geotécnica da UFOP). Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

MIGUEL, M. G.; PINESE, J. P. P. Breve panorama sobre Geotecnia Ambiental. **Boletim de Geografia**, v. 22, n. 1, 2004.

MONTEIRO, D. A; ALVES, L. F; ARAIUM, N. E. B. Análise do desempenho de aterros rodoviários construídos sobre solos moles tratados com a técnica de Consolidação Profunda Radial (CPR). **Anais... XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica.** Goiânia, 2014.

MORAES, R. **Ferrovia Transcontinental.** 2014. Disponível: <<http://www.robertomoraes.com.br/2014/08/ferrovia-transcontinental.html>> Acesso: 10 mai. 2018.

NASCIMENTO, P. C; LANI, J. L; MENDONÇA, E. S; ZOFFOLI, H. J. O; PEIXOTO, H, T. M. **Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo.** **Revista Brasileira de Ciências do Solo.** n. 34, p. 339-348, 2010.

NOBREGA, R. A. A.; VIEIRA, R. R. T.; BERBERIAN, C. F. Q. ; MASUKAWA, N. ; QUADROS, E. A. T. Inteligência geográfica para avaliação de propostas de projeto de concessão de corredores ferroviários. **Transportes** (Rio de Janeiro), v. 24, p. 75-84, 2016.

NOGUEIRA, E. G. **Estudo de algumas soluções de tratamento de solos moles para construção de aterros no trecho sul do Rodoanel – SP.** 166f. 2010. (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, C. M. G. **Carta de risco de colapso de solos par a área urbana do município de Ilha Solteira- SP.** 89f. 2002. (Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, 2002.

OLIVEIRA, J. B; CAMARGO, M; ROSSI, M; CALDERANO FILHO, B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo.** Campinas: Embrapa: IAC, 1999.

OLIVEIRA, V. A. O Brasil carece de novos pedólogos. Boletim informativo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, 1999.

PINTO, C. S. **Curso básico de Mecânica dos solos em 16 aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PÓVOA, L. M. M. **Caracterização geotécnica de um depósito de solo mole em área de baixada localizada em Macaé-RJ**. 138f. 2016. (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2016.

RODRIGUES, J. C. **Geologia para engenheiros civis**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.

SAATY, T.L. Transport planning with multiple criteria: the analytic hierarchy process applications and progress review. **Journal of Advanced Transportation**, v.29, n.1, p.81-126, 1995.

SADASIVUNI, R. ; NOBREGA, R. A. A. ; OHARA, C. G. ; DUMAS, J. . A Transportation Corridor Case Study for Multi-Criteria Decision Analysis. In: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Annual Meeting, 2009, Baltimore, MD - USA. **Proceedings of 75th ASPRS annual meeting**, 2009.

SANTOS JÚNIOR, J. B. **Solos com propriedades ândicas derivados de litologias da Formação Serra Geral em ambientes altomontanos do Sul do Brasil**. 185f. 2017. (Tese de doutorado: Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo). Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2017.

SANTOS, E. F; PARREIRA, A. B. Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais. **44ª RAPv – Reunião Anual de Pavimentação e 18º ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária**. Foz do Iguaçu, PR. 2015. ISSN: 1807-5568.

SANTOS, H. G.; CARVALHO JUNIOR, W.; DART, R. O.; AGLIO, M. L. D.; SOUSA, J. S.; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. S.; OLIVEIRA, A. P. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013.

SANTOS, T. F; INDA, A. V; MAZURANA, M; CHAVES, E; OLIVEIRA, J. S. Capacidade de suporte e mineralogia de Latossolos do Rio Grande do Sul. **Anais... XXXV Congresso Brasileiro de Ciências do Solo**. Natal-RN, 2015.

SILVA NETO, L. F. **Pedogênese e matéria orgânica de solos hidromórficos da região Metropolitana de Porto Alegre**. 96f. 2010. (Tese de doutorado- Programa de Pós-graduação em Ciências do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

SILVA, A. M; SANTOS, R. J. O gigante dormente: o lugar nos trilhos da ferrovia Norte-Sul. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, v. 26, 2014.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Soil Science Glossary**. Disponível em <<https://www.soils.org/publications/soils-glossary/#>>. Acesso em: 20 de jan. 2018. SOUZA, C. R. G; SUGUIO, K; OLIVEIRA; A. M. S; OLIVEIRA; P. E. **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Editora Holos, 2005.

SPANNENBERG, M. G. **Caracterização geotécnica de um depósito de argila mole da Baixada Fluminense**. 162f. 2003. (Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2003.

STICH, B.; HOLLAND, J. H.; NOBREGA, R. A. A.; O'HARA, C. G. Using multi-criteria decision making to highlight stakeholders values in the corridor planning process. **Journal of Transport and Land Use**, v. 4, p. 105-118, 2011.

TATUMI, S. H; et al. Datação de sedimentos pós-Barreiras no Norte do Brasil: implicações paleogeográficas. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 38, v. 3, p. 514-524, 2008.

VALEC – Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. **Relatório de complemento de informações – TCU – Plenário**. 2015. Disponível: <www.valec.gov.br> Acesso: maio, 2018.

VERHEYE, W. H. Land use planning. In.: VERHEYE, W. H. **Encyclopedia of land use, land cover and soil sciences: land use planning**. Volume 3. Orxord, UK: Eolss Publishers Co. Ltd. 2009.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FLORES, C.A. Geoprocessamento no apoio ao mapeamento de solos. In: FLORES, C.A. POTTER, R.O., FASOLO, P.J.; HASENACK, H.; WEBER, E. (Org.) **Levantamento semi-detalhado de solos: região da campanha – Folha Palomas, Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2006.

WEECH, C. N; LISTER, D.R. Highway embankment construction over soft soils in the Lower Mainland of British Columbia. Annual Conference of the Transportation Association of Canada. **Anais...** Vancouver, British Columbia, 2009.

ZHU, A. X.; HUDSON, B.; BURT, J.; LUBICH, K.; SIMONSON, D. Soil mapping using GIS, expert knowledge, and Fuzzy Logic. **Soil Aci. Soc. Am.** v. 65, 2001.

ANEXOS

FERROVIA NORTE-SUL – EXTENSÃO SUL – LOTE 04S
CADASTRO DE PONTOS COM A PRESENÇA DE SOLOS
COMPRESSÍVEIS E NECESSIDADE DE SUBSTITUIÇÃO
SEGUNDO O PROJETO EXECUTIVO

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA
DENOMINAÇÃO: OCORRÊNCIA 2
MATERIAL: ARGILA ARENOSA PRETA / AREIA ARGILOSA PRETA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO: 32.845,36m ²
ÁREA A SER REMOVIDA: 19.608,56m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO): 12,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO: 4,0m
VOLUME DE REMOÇÃO: 78.434,24m ³
ESPESSURA DE ATERRO: -
ESPESSURA DE BRITA: 0,2m
ESPESSURA DE RACHÃO: 2,3m
ESPESSURA DE AREIA: 1,5m
LOCALIZAÇÃO
MUNICÍPIO: SÃO SIMÃO
LOCALIDADE: km 386+872 AO km 387+292 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM: E=524158, N=7968953 A E=524317, N=7968565 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA
DENOMINAÇÃO: OCORRÊNCIA 5
MATERIAL: ARGILA ARENOSA CINZA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO: 1.608,61m ²
ÁREA A SER REMOVIDA: 516,57m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO): 6,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO: 2,0m
VOLUME DE REMOÇÃO: 1.033,14m ³
ESPESSURA DE ATERRO: 0,30m
ESPESSURA DE BRITA: 0,20m
ESPESSURA DE RACHÃO: 1,50m
LOCALIZAÇÃO
MUNICÍPIO: SÃO SIMÃO
LOCALIDADE: km 390+712 AO km 390+726 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM: E=526209, N=7965779 A E=526215, N=7965766 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL	
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA	
DENOMINAÇÃO:	OCORRÊNCIA 6
MATERIAL:	ARGILA ARENOSA CINZA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO:	7.465,57m ²
ÁREA A SER REMOVIDA:	3.542,22m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO):	12,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO:	4,0m
VOLUME DE REMOÇÃO:	14.168,88m ³
ESPESSURA DE ATERRO:	0,3m
ESPESSURA DE BRITA:	0,2m
ESPESSURA DE RACHÃO:	3,5m
LOCALIZAÇÃO	
MUNICÍPIO:	SÃO SIMÃO
LOCALIDADE:	km 390+821 AO km 390+909 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM:	E=526251, N=7965678 A E=526278, N=7965595 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL	
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA	
DENOMINAÇÃO:	OCORRÊNCIA 7
MATERIAL:	ARGILA ARENOSA PRETA / ARGILA ESCURA / AREIA ESCURA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO:	12.929,98m ²
ÁREA A SER REMOVIDA:	6.759,14m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO):	12,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO:	4,0m
VOLUME DE REMOÇÃO:	27.036,56m ³
ESPESSURA DE ATERRO:	-
ESPESSURA DE BRITA:	0,2m
ESPESSURA DE RACHÃO:	4,9m (3,9m de rachão + 1m de rachão agulhado)
LOCALIZAÇÃO	
MUNICÍPIO:	SÃO SIMÃO
LOCALIDADE:	km 391+292 AO km 391+413 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM:	E=526420, N=7965240 A E=526487, N=7965139 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL	
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA	
DENOMINAÇÃO:	OCORRÊNCIA 9
MATERIAL:	AREIA ARGILOSA FINA CINZA / AREIA SILTOSA CINZA / AREIA ESCURA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO:	13.856,88m ²
ÁREA A SER REMOVIDA:	6.606,89m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO):	12,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO:	4,0m
VOLUME DE REMOÇÃO:	26.427,56m ³
ESPESSURA DE ATERRO:	0,2m
ESPESSURA DE BRITA:	0,2m
ESPESSURA DE RACHÃO:	2,1m
ESPESSURA DE AREIA:	1,5m
LOCALIZAÇÃO	
MUNICÍPIO:	SÃO SIMÃO
LOCALIDADE:	km 392+915 AO km 393+062 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM:	E=527730, N=7964342 A E=527877, N=7964325 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL	
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA	
DENOMINAÇÃO:	OCORRÊNCIA 10
MATERIAL:	ARGILA SILTOSA CINZA / ARGILA SILTOSA ESCURA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO:	12.539,45m ²
ÁREA A SER REMOVIDA:	6.035,87m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO):	12,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO:	4,0m
VOLUME DE REMOÇÃO:	24.143,48m ³
ESPESSURA DE ATERRO:	0,1m
ESPESSURA DE BRITA:	0,2m
ESPESSURA DE RACHÃO:	4,7m (3,7m de rachão + 1m de rachão agulhado)
LOCALIZAÇÃO	
MUNICÍPIO:	SÃO SIMÃO
LOCALIDADE:	km 393+893 AO km 394+053 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM:	E=528705, N=7964289 A E=528859, N=7964247 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL	
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA	
DENOMINAÇÃO:	OCORRÊNCIA 11
MATERIAL:	ARGILA ARENOSA CINZA / AREIA FINA ESCURA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO:	21.653,76m ²
ÁREA A SER REMOVIDA:	10.766,55m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO):	12,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO:	4,0m
VOLUME DE REMOÇÃO:	43.066,2m ³
ESPESSURA DE ATERRO:	-
ESPESSURA DE BRITA:	0,2m
ESPESSURA DE RACHÃO:	2,3m
ESPESSURA DE AREIA:	1,5m
LOCALIZAÇÃO	
MUNICÍPIO:	SÃO SIMÃO
LOCALIDADE:	km 395+036 AO km 395+356 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM:	E=529660, N=7963691 A E=529902, N=7963481 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL	
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA	
DENOMINAÇÃO:	OCORRÊNCIA 12
MATERIAL:	AREIA FINA CINZA / AREIA FINA ESCURA / ARGILA ARENOSA VERMELHA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO:	15.396,00m ²
ÁREA À SER REMOVIDA:	6.739,00m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO):	12,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO:	4,0m
VOLUME DE REMOÇÃO:	26.956,00m ³
ESPESSURA DE ATERRO:	-
ESPESSURA DE BRITA:	0,20m
ESPESSURA DE RACHÃO:	3,80m
LOCALIZAÇÃO	
MUNICÍPIO:	SÃO SIMÃO
LOCALIDADE:	km 399+045 AO km 399+198 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM:	E=532344, N=7961153 AO E=532535, N=7961132 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL	
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA	
DENOMINAÇÃO:	OCORRÊNCIA 13
MATERIAL:	ARGILA ARENOSA PRETA / AREIA FINA POUCO ARGILOSA CINZA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO:	7.935,38m ²
ÁREA A SER REMOVIDA:	4.513,57m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO):	12,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO:	4,0m
VOLUME DE REMOÇÃO:	18.054,28m ³
ESPESSURA DE ATERRO:	0,10m
ESPESSURA DE BRITA:	0,2m
ESPESSURA DE RACHÃO:	2,2m
ESPESSURA DE AREIA:	1,5m
LOCALIZAÇÃO	
MUNICÍPIO:	SÃO SIMÃO
LOCALIDADE:	km 420+700 AO km 420+797 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM:	E=539994, N=7949061 A E=540039, N=7948977 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL	
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA	
DENOMINAÇÃO:	OCORRÊNCIA 14
MATERIAL:	AREIA FINA PRETA / ARGILA ARENOSA PRETA / AREIA FINA ESCURA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO:	13.418,69m ²
ÁREA A SER REMOVIDA:	6.265,68m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO):	12,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO:	4,0m
VOLUME DE REMOÇÃO:	25.062,72m ³
ESPESSURA DE ATERRO:	0,10m
ESPESSURA DE BRITA:	0,20m
ESPESSURA DE RACHÃO:	3,70m
LOCALIZAÇÃO	
MUNICÍPIO:	SÃO SIMÃO
LOCALIDADE:	km 422+416 AO km 422+600 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM:	E=540522, N=7947485 A E=540629, N=7947335 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL	
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA	
DENOMINAÇÃO:	OCORRÊNCIA 15
MATERIAL:	AREIA FINA CINZA / ARGILA CINZA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO:	9.837,66m ²
ÁREA A SER REMOVIDA:	4.781,24m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO):	12,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO:	4,0m
VOLUME DE REMOÇÃO:	19.124,96m ³
ESPESSURA DE ATERRO:	-
ESPESSURA DE BRITA:	0,20m
ESPESSURA DE RACHÃO:	2,3m
ESPESSURA DE AREIA:	1,5m
LOCALIZAÇÃO	
MUNICÍPIO:	SÃO SIMÃO
LOCALIDADE:	km 427+904 AO km 428+023 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM:	E=541569, N=7942501 A E=541569, N=7942381 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL	
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA	
DENOMINAÇÃO:	OCORRÊNCIA 16
MATERIAL:	ARGILA PLÁSTICA CINZA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO:	3.601,60m ²
ÁREA A SER REMOVIDA:	1.219,85m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO):	12,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO:	4,0m
VOLUME DE REMOÇÃO:	4.879,4m ³
ESPESSURA DE ATERRO:	0,50m
ESPESSURA DE BRITA:	0,20m
ESPESSURA DE RACHÃO:	1,80m
ESPESSURA DE AREIA:	1,50m
LOCALIZAÇÃO	
MUNICÍPIO:	SÃO SIMÃO
LOCALIDADE:	km 428+338 AO km 428+375 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM:	E=541475, N=7942085 A E=541455, N=7942054 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL	
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA	
DENOMINAÇÃO:	OCORRÊNCIA 17
MATERIAL:	ARGILA CINZA / ARGILA ARENOSA PRETA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO:	3.601,60m ²
ÁREA A SER REMOVIDA:	2.506,41m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO):	6,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO:	2,0m
VOLUME DE REMOÇÃO:	5.012,8m ³
ESPESSURA DE ATERRO:	2,00m
ESPESSURA DE BRITA:	-
ESPESSURA DE RACHÃO:	-
LOCALIZAÇÃO	
MUNICÍPIO:	SÃO SIMÃO
LOCALIDADE:	km 435+850 AO km 435+925 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM:	E=539827, N=7936309 A E=539832, N=7936235 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL	
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA	
DENOMINAÇÃO:	OCORRÊNCIA 19
MATERIAL:	ARGILA ARENOSA PRETA / AREIA SILTOSA ESCURA / ARGILA SILTOSA CINZA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO:	7.334,99m ²
ÁREA A SER REMOVIDA:	6.471,24m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO):	12,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO:	4,0m
VOLUME DE REMOÇÃO:	25.885,0m ³
ESPESSURA DE ATERRO:	-
ESPESSURA DE BRITA:	0,20m
ESPESSURA DE RACHÃO:	3,80m
LOCALIZAÇÃO	
MUNICÍPIO:	SÃO SIMÃO
LOCALIDADE:	km 498+000 AO km 498+083 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM:	E=548196, N=7896673 A E=548239, N=7896598 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL	
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA	
DENOMINAÇÃO:	OCORRÊNCIA 20
MATERIAL:	ARGILA ARENOSA CINZA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO:	22.722,63m ²
ÁREA A SER REMOVIDA:	12.096,35m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO):	9,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO:	3,0m
VOLUME DE REMOÇÃO:	36.289,05m ³
ESPESSURA DE ATERRO:	-
ESPESSURA DE BRITA:	0,20m
ESPESSURA DE RACHÃO:	2,80m
LOCALIZAÇÃO	
MUNICÍPIO:	SÃO SIMÃO
LOCALIDADE:	km 512+510 AO km 512+880 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM:	E=547734, N=7886426 A E=547384, N=7886305 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL	
DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA	
DENOMINAÇÃO:	OCORRÊNCIA 21
MATERIAL:	AREIA CINZA
ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO:	4.628,88m ²
ÁREA A SER REMOVIDA:	1.526,02m ²
LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO):	6,0m (mínimo)
ESPESSURA DE REMOÇÃO:	2,0m
VOLUME DE REMOÇÃO:	3.052,04m ³
ESPESSURA DE ATERRO:	-
ESPESSURA DE BRITA:	0,20m
ESPESSURA DE RACHÃO:	1,80m
LOCALIZAÇÃO	
MUNICÍPIO:	SÃO SIMÃO
LOCALIDADE:	km 514+030 AO km 514+080 (eixo da ferrovia)
COORDENADAS UTM:	E=546449, N=7885669 A E=546410, N=7885641 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL

DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA

DENOMINAÇÃO: OCORRÊNCIA 22

MATERIAL: ARGILA ARENOSA / AREIA ARGILOSA CINZA

ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO: 8.937,51m²

ÁREA A SER REMOVIDA: 7.395,20m²

LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO): 3,0m (mínimo)

ESPESSURA DE REMOÇÃO: 1,0m

VOLUME DE REMOÇÃO: 7.395,20m³

ESPESSURA DE ATERRO: 0,20m

ESPESSURA DE BRITA: 0,20m

ESPESSURA DE RACHÃO: 0,60m

LOCALIZAÇÃO

MUNICÍPIO: SÃO SIMÃO

LOCALIDADE: km 518+100 AO km 518+204 (eixo da ferrovia)

COORDENADAS UTM: E=545822, N=7882378 A E=545790, N=7882288 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL

DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA

DENOMINAÇÃO: OCORRÊNCIA 23

MATERIAL: ARGILA ARENOSA CINZA / AREIA FINA CINZA

ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO: 6.543,01m²

ÁREA A SER REMOVIDA: 5.155,84m²

LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO): 12,0m (mínimo)

ESPESSURA DE REMOÇÃO: 4,0m

VOLUME DE REMOÇÃO: 20.623,36m³

ESPESSURA DE ATERRO: 0,20m

ESPESSURA DE BRITA: 0,20m

ESPESSURA DE RACHÃO: 2,10m

ESPESSURA DE AREIA: 1,5m

LOCALIZAÇÃO

MUNICÍPIO: SÃO SIMÃO

LOCALIDADE: km 524+190 AO km 524+294 (eixo da ferrovia)

COORDENADAS UTM: E=545280, N=7876452 A E=545298, N=7876370 (eixo da ferrovia)

OCORRÊNCIA DE SOLO COMPRESSÍVEL

DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA

DENOMINAÇÃO: OCORRÊNCIA 24

MATERIAL: ARGILA ARENOSA PRETA / AREIA FINA ESCURA

ÁREA TOTAL DENTRO DA FAIXA DE DOMÍNIO: 11.899,8m²

ÁREA A SER REMOVIDA: 9.188,76m²

LARGURA (FINAL DO OFFSET DE ATERRO ATÉ O INÍCIO DA ÁREA DE REMOÇÃO): 12,0m (mínimo)

ESPESSURA DE REMOÇÃO: 4,0m

VOLUME DE REMOÇÃO: 36.755,04m³

ESPESSURA DE ATERRO: -

ESPESSURA DE BRITA: 0,20m

ESPESSURA DE RACHÃO: 3,90m

LOCALIZAÇÃO

MUNICÍPIO: SÃO SIMÃO

LOCALIDADE: km 525+309 AO km 525+458 (eixo da ferrovia)

COORDENADAS UTM: E=545562, N=7875361 A E=545530, N=7875243 (eixo da ferrovia)