

Estudo das Propriedades do Solo da Região de Curvelo-MG Baseado em Ensaios de Laboratório para Elaboração de Mapas De Variabilidade com Abordagem Probabilística

Anderson Moreira de Vasconcelos

CEFET-MG, Curvelo, Brasil, anderson@curvelo.cefetmg.br

Franciélle Cristina Pereira Diniz

CEFET-MG, Curvelo, Brasil, franciellecvo@hotmail.com.br

Juliana Reinert

CEFET-MG, Curvelo, Brasil, jureinert@curvelo.cefetmg.br

Laura de Alemeida Paula

CEFET-MG, Curvelo, Brasil, lauradpaula@yahoo.com.br

Rafael Christovam Junior

CEFET-MG, Curvelo, Brasil, rjchristovam75@gmail.com

RESUMO: A variabilidade do solo é uma questão complexa que pode afetar os projetos de engenharia geotécnica. Esta pesquisa tem como objetivo realizar um estudo sobre as propriedades dos solos da região de Curvelo-MG, neste caso solos coluvionares cenozóicos, elaborando mapas de variabilidade espacial a partir de ensaios laboratoriais onde são verificadas as propriedades físicas e químicas do solo. As amostras foram coletadas utilizando-se sondagens a trado em pontos estratégicos em profundidade de 0,5 até 1,0 m. Foram calculados parâmetros básicos de estatística para análise da variabilidade do solo e obtidos os mapas de variabilidade de cada uma destas propriedades, utilizando-se métodos numéricos.

PALAVRAS-CHAVE: Variabilidade do Solo, Geoestatística, Ensaios Laboratoriais.

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa foi elaborada a partir da detecção da necessidade de apoio para fortalecimento das atividades do Centro de Distribuição de produtos oriundos da agricultura familiar, idealizado pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais - EMATER-MG, pelo Instituto Mineiro de Agropecuária - IMA e pela Câmara de Desenvolvimento de Curvelo - CODEC, que irá beneficiar cerca de 8.670 agricultores familiares, engloba 29 municípios, numa área territorial de 35.158 km².

O intuito desta parceria é conscientizar o

produtor rural, através de um processo de educação ambiental, da importância de se conhecer o tipo de solo existente na sua propriedade, garantindo o melhor uso do recurso e promovendo a preservação do solo.

As amostras do solo utilizadas neste estudo foram coletadas utilizando-se sondagens a trado em pontos estratégicos, escolhidos a partir do mapa geográfico da cidade de Curvelo-MG, de forma a se ter uma melhor distribuição espacial das amostras.

Foram realizados ensaios de laboratório de limite de liquidez, limite de plasticidade, umidade higroscópica e textura. Ainda se pretende aprimorar o estudo com os ensaios

químicos do solo.

A partir dos resultados dos ensaios, foram obtidos os mapas de variabilidade de cada uma destas propriedades, utilizando-se métodos numéricos. Através destes mapas é possível notar a heterogeneidade do solo em relação a cada uma das propriedades estudadas. É importante frisar que este estudo é um estágio inicial e que será estendido a outras propriedades do solo, além de se aumentar o banco de dados com maior coleta em toda a região que apresentar maior heterogeneidade.

Notou-se durante a pesquisa que o solo da região de Curvelo ainda foi pouco estudado e não se tem uma bibliografia clara e de fácil acesso. A criação dos mapas de variabilidade permitirá uma abordagem simples e visual das propriedades e características básicas do solo para entendimento de como elas variam espacialmente. Dessa forma, mesmo leigos poderão entender melhor as propriedades do solo na sua região.

2 DESCRIÇÃO DO SÍTIO

As 33 (trinta e três) amostras de solo utilizadas para este estudo foram coletadas no município de Curvelo-MG e região, ao longo da BR 259, que intercepta a cidade. A localização das amostras pode ser observada na figura 1, obtida a partir de GPS e locada em imagem aérea. As coletas foram realizadas por sondagem a trado,



Figura 1. Localização das amostras. (Adaptado de Google Earth, 2013)

Os ensaios geotécnicos envolvem incertezas devido à variabilidade natural dos materiais e as relacionadas a erros de medida durante os testes. Neste trabalho, considerou-se que as

desprezando os cinquenta centímetros iniciais, coletando solos de 0,5 até 1 m de profundidade.

Os ensaios realizados para obtenção dos dados foram: Umidade Higroscópica, conforme NBR 6457 (ABNT, 1986), Limite de Liquidez, conforme NBR 6459 (ABNT, 1984), Limite de Plasticidade, conforme NBR 7180 (ABNT, 1984), e Textura, conforme Manual do Laboratorista (PROFERT, 2005).

3 ANÁLISES DOS ENSAIOS E METODOLOGIA

De acordo com Guedes (2009), o solo apresenta heterogeneidade e sua variabilidade espacial, horizontal e vertical, é dependente dos fatores de formação e aos relacionados ao manuseio. O estudo da variabilidade do solo é necessário para que se possa conhecer o tipo e o comportamento do solo em cada região. As propriedades do solo apresentam valores diferentes nos diversos pontos do terreno, dependendo das dimensões, relevo, material de origem, clima local, profundidade, entre outros.

Os estudos na área de variabilidade geoestatística do solo são antigos, como cita Vieira (2000), mas são pouco difundidos devido à falta de incentivo e estudos aprofundados na Geotecnia.

incertezas são somente devido à variabilidade natural do solo.

As incertezas relacionadas a cada um dos fatores envolvidos no estudo de um

determinado problema podem ser consideradas através de parâmetros que representem a variabilidade destes fatores ao longo do domínio do problema em análise. A maneira mais simplificada de se considerar estas incertezas é usando parâmetros estatísticos básicos, tais como média amostral, desvio padrão amostral, coeficiente de variação (COV).

Outra forma de se levar em conta a variabilidade os fatores envolvidos é através de sua distribuição de probabilidade, que pode ser representada empiricamente ou usando-se uma função de forma conhecida, como uma curva normal, log-normal e outras. O ajuste da distribuição de probabilidade aos dados estudados foi avaliado utilizando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov para a curva normal. Para este trabalho, adotou-se metodologia sugerida por Dyminski (2006).

Segundo Massey (1951), o teste de Kolmogorov-Smirnov permite testar se um conjunto de observações são de alguma distribuição contínua completamente estabelecidas através de uma função $f(x)$.

De acordo com os autores, a alternativa usual seria o teste do qui-quadrado. A estatística de Kolmogorov-Smirnov tem pelo menos duas vantagens importantes em relação a quiquadrado

1. Pode ser usada com amostras pequenas, em que a validade do teste quiquadrado seria questionável.

2. Muitas vezes parece ser um teste mais poderoso do que o teste do qui-quadrado para qualquer tamanho da amostra.

Para o presente trabalho utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov para uma um conjunto de 33 amostras heterogêneas, as quais foram geradas as curvas de nível nos mapas de variabilidade.

4 RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de Umidade Higroscópica, Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Textura foram analisados utilizando parâmetros estatísticos.

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, utilizou-se análise estatística

apropriada com grande amplitude de validade e utilização de técnicas mais refinadas que propiciaram: a aplicação uniforme do tratamento dos dados, medidas adequadas e não viciadas dos dados, prevenção de erros grosseiros e controle de influências externas.

Como todo conjunto de dados numéricos possuem variabilidades entre seus componentes, foi empregado, além da média - que nos forneceu o parâmetro do valor central e possibilitou identificar diferenças existentes entre as amostras -, o estudo do desvio padrão e coeficiente de variação, como medida de variabilidade.

O objetivo na utilização desses parâmetros foi minimizar possíveis fontes de variações existentes no experimento e no tratamento dos dados.

Com isso, foi possível estabelecer um valor médio indicativo do grau de variabilidade ou dispersão em torno do valor central.

Como o desvio padrão é expresso como medida de variabilidade relativa à média, e a média indica uma medida de centralidade, e ambos são expressos na unidade original dos dados, utilizou-se, por fim, o coeficiente de variação como medida adimensional para obter o valor da menor média em relação às distribuições.

4.1 Parâmetros Estatísticos

Parâmetros estatísticos (média, desvio padrão e coeficiente de variação COV) foram calculados através dos dados dos ensaios de Umidade Higroscópica, Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Textura, utilizando todo o conjunto de pontos. Os parâmetros obtidos são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros Estatísticos.

Propriedade	Média	Desvio Padrão	COV
Umidade (%)	3,08	1,38	44,75
LL (%)	43,76	16,04	36,67
LP (%)	27,97	13,19	47,16
Argila (%)	55,55	15,16	27,29
Areia Fina (%)	1,68	2,01	120,01
Areia Grossa (%)	3,21	1,98	61,82
Silte (%)	39,57	14,07	35,57

Todas as propriedades analisadas apresentaram coeficientes de variação (COV) muito altos (>30%), segundo a classificação proposta por Gomes (2002). Notou-se também desvios padrões elevados nos limites de Atterberg e nos teores de silte e argila, o que se espera, já que são propriedades relacionadas.

O solo estudado é formado por sedimentos coluvionares, que possuem, em sua maioria, granulometria argilo-siltosa e coloração marrom-avermelhada, conforme CPRM (2009). Sabe-se que solos coluvionares apresentam alta variação espacial das suas propriedades, mesmo em distâncias pequenas, principalmente devido à forma como são depositados.

4.2 Distribuição de Probabilidade

Neste trabalho, a função de distribuição de probabilidade normal foi ajustada matematicamente aos dados experimentais. Foi realizado o teste Kolmogorov-Smirnov para avaliação do ajuste desta função aos dados. Consiste em um teste não paramétrico para as diferenças entre distribuições cumulativas.

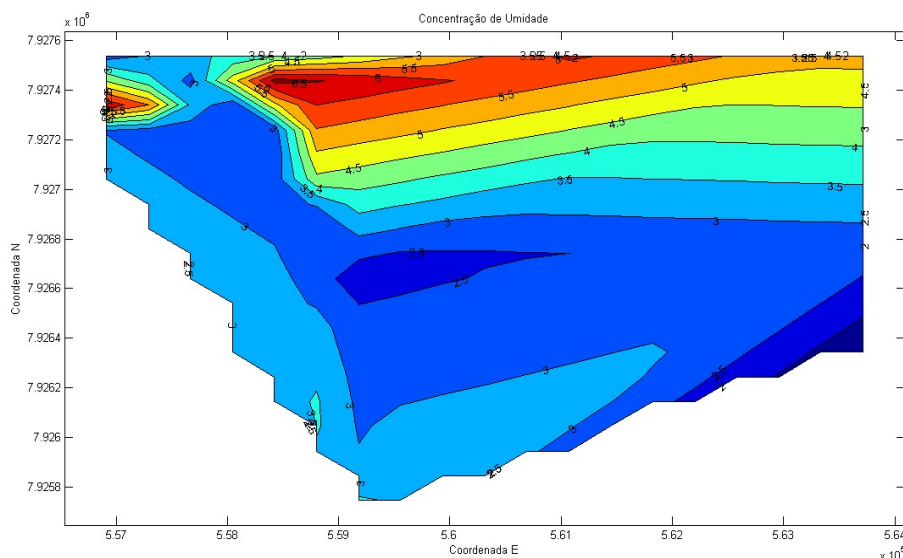
Constatou-se que a amostra não segue a função de probabilidade normal para nenhuma das propriedades estudadas, já que o valor de KSD (distância máxima entre as funções cumulativas de probabilidade empírica e analítica) para os dados foi igual a 1.

4.3 Mapas de variabilidade

Dado que os valores encontrados na amostra são dados empíricos e discretos, utilizou-se interpolação para obter uma função $P_{(\varphi)}$ que aproximasse da amostra.

A partir de $P_{(\varphi)}$ foi possível encontrar as curvas de nível de $P_{(\varphi)} \cong f_{(x,y)} = k$ onde k é o conjunto de todos os pontos do domínio de f .

Para confecção dos mapas apresentados, foram utilizadas estruturas de superfícies em rede por meio de coordenadas z dos pontos correspondentes a uma grade retangular no plano xy que representam neste trabalho às coordenadas N e E. A partir disso, foram obtidos os mapas de variabilidade das propriedades Umidade Higroscópica, Teor de Argila, Limite de Plasticidade e Limite de Liquidez, conforme apresentado nas figuras 2, 3, 4 e 5, respectivamente. Estes mapas apresentam as coordenadas geográficas dos pontos amostrados e a variabilidade das propriedades. Em todos os mapas as cores azuis são os valores mais baixos e as vermelhas são valores mais altos.



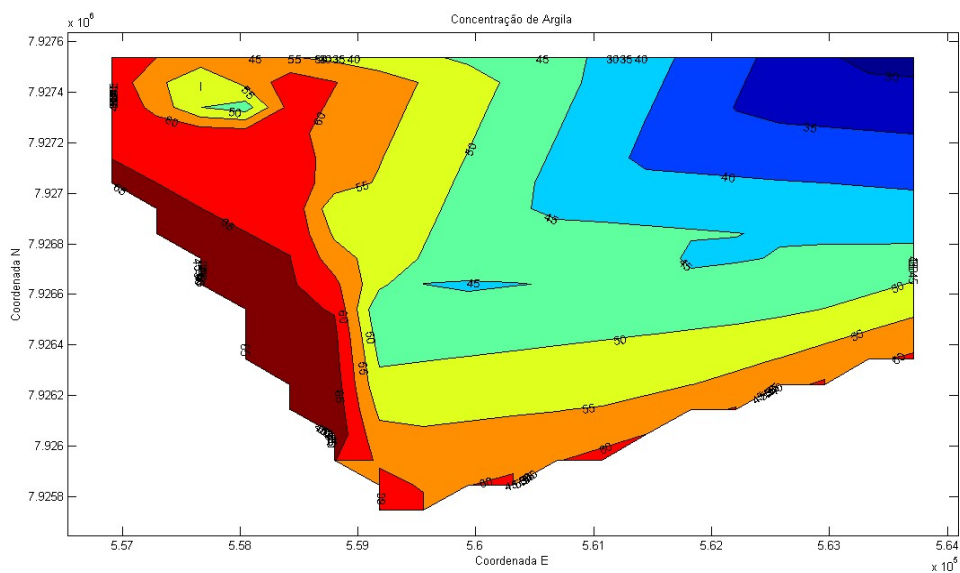


Figura 3. Mapa de variabilidade do Teor de argila.

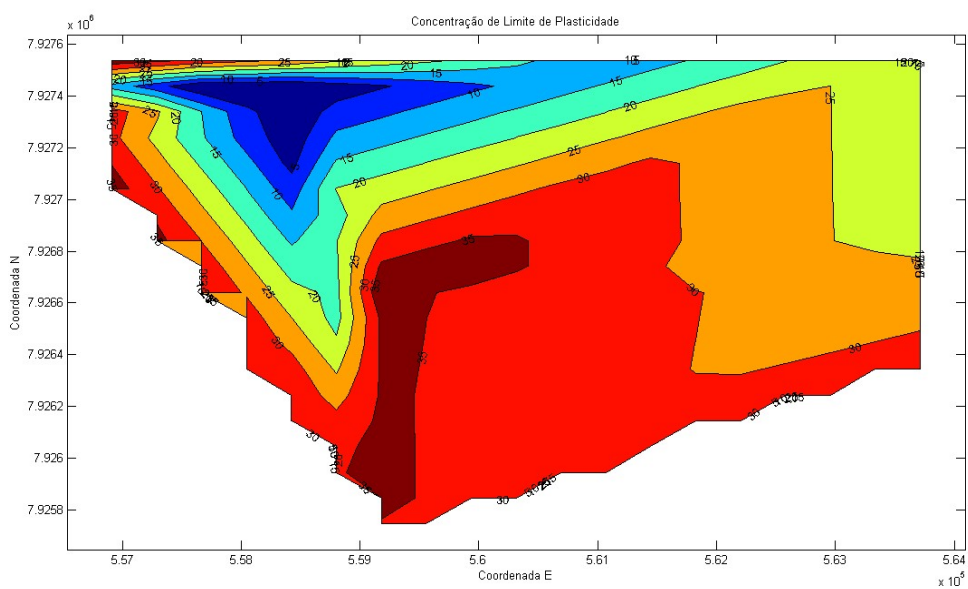


Figura 4. Mapa de variabilidade do Limite de Plasticidade.

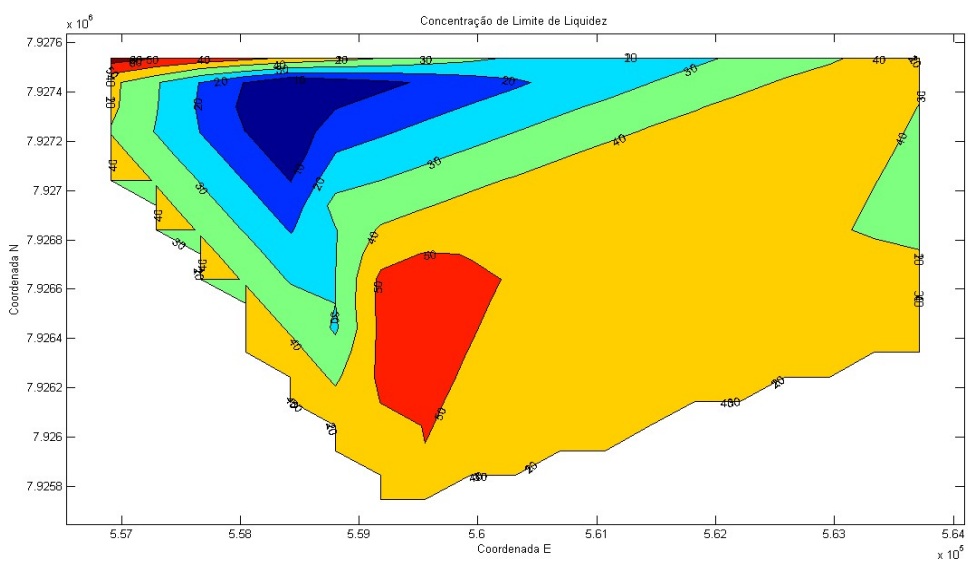


Figura 5. Mapa de variabilidade do Limite de Liquidez.

A umidade higroscópica dos solos ensaiados variou de 1% a 7,7%. Nota-se na figura 2 que as menores umidades higroscópicas estão distribuídas ao sul do mapa.

Conforme apresentado na figura 3, o percentual de argila variou de 9% a 71%. Observa-se no mapa que o teor de argila de 30% a 50% se concentra na área leste e que os teores mais altos encontram-se a sudoeste.

A concentração menor de argila ao norte explica os baixos valores dos limites de Atterberg nos mapas das figuras 4 e 5. À medida que diminui a quantidade de argila do

solo, diminuem-se os valores do índice de plasticidade. Desta forma, quanto menor é a relação da superfície total das partículas de argila em relação ao seu volume, menor número de moléculas de água é capaz de absorver e, por conseguinte, serão mais baixos os valores dos limites de Atterberg.

Foram geradas imagens tridimensionais da variabilidade das propriedades estudadas, de forma a facilitar o entendimento dos mapas, conforme apresentado nas figuras 6, 7, 8 e 9.

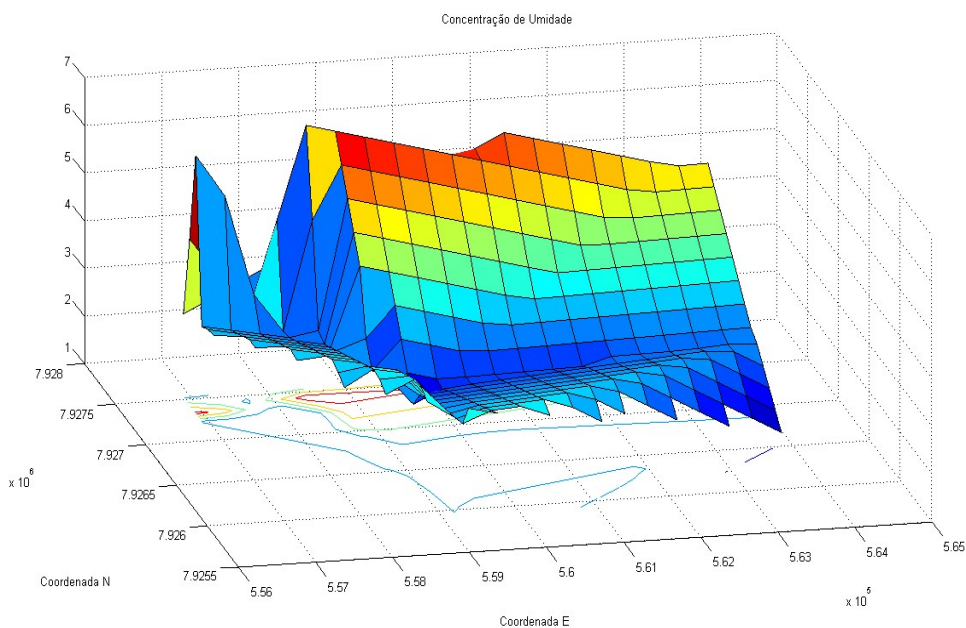


Figura 6. Mapa tridimensional da variabilidade do Teor de Umidade.

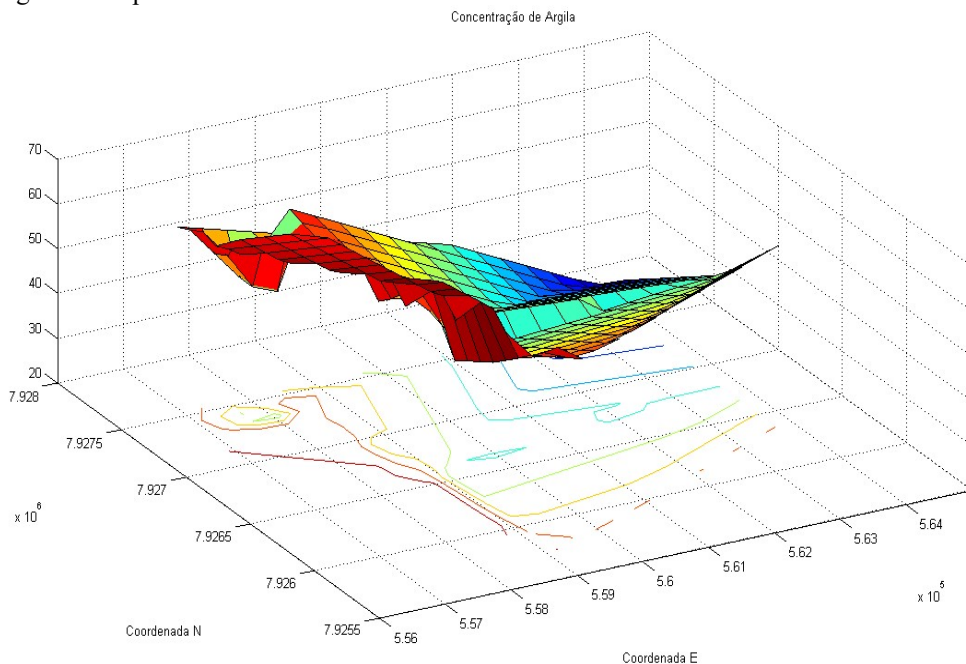


Figura 7. Mapa tridimensional da variabilidade do Teor de argila.

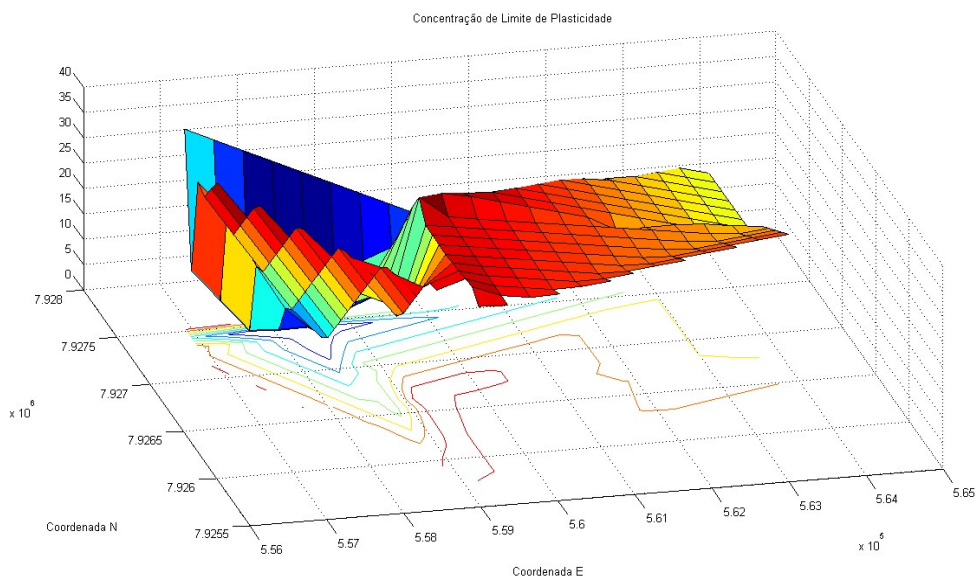


Figura 8. Mapa tridimensional da variabilidade do Limite de Plasticidade.

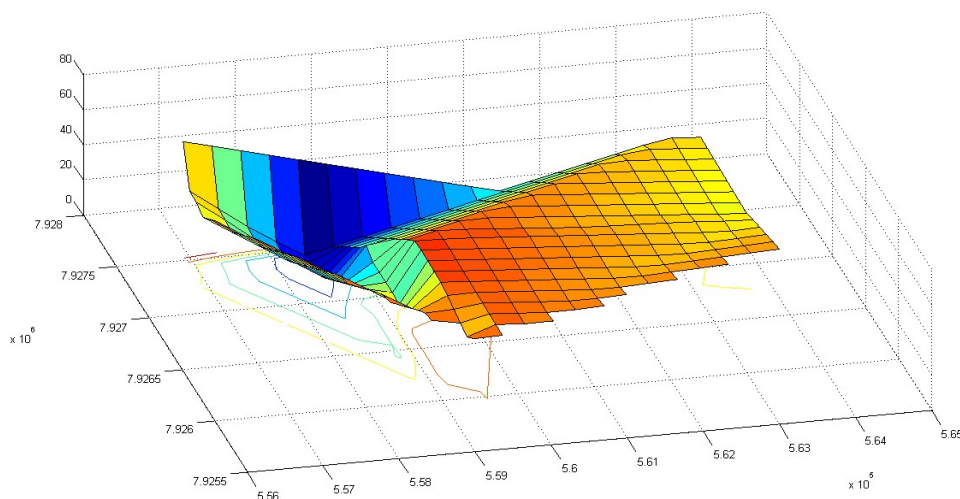


Figura 9. Mapa tridimensional da variabilidade do Limite de Liquidez.

Os mapas de variabilidade do solo serão de grande funcionalidade para a comunidade local quando as amostras forem ampliadas e os ensaios químicos do solo forem realizados. Desta forma, será possível utilizá-los em avaliações de solo para uso de agronomia e conservação de solos e obras civis menos complexas.

5 CONCLUSÃO

Nos últimos anos acentuou-se a importância do estudo da variabilidade dos solos e as suas implicações para projetos geotécnicos.

Esse trabalho descreve uma abordagem utilizada para caracterizar a variabilidade de

ensaios de laboratório de Umidade Higroscópica, Textura, Limite de Plasticidade e Limite de Liquidez, sugerindo-se que seja estendida aos demais ensaios de campo e de laboratório.

A metodologia adotada partiu dos parâmetros estatísticos básicos, como média, desvio padrão e coeficiente de variação ($COV = \text{média} / \text{desvio padrão}$).

Todas as propriedades analisadas apresentaram coeficientes de variação muito altos ($>30\%$) e os limites de Atterberg e teores de silte e argila apresentaram desvios padrões elevados. Acredita-se que estes valores são compatíveis com o tipo de solo estudado, já que sedimentos coluvionares costumam apresentar

alta variabilidade espacial. Em regiões próximas à estudada, nota-se a presença de solos residuais provenientes de filito, que podem apresentar variabilidades altas, dependendo do tipo de intemperismo sofrido e do quanto mantém a estrutura da rocha-mãe. Sugere-se para futuras pesquisas o estudo nestes solos residuais.

Em nenhum dos ensaios foi possível fazer um ajuste à função de distribuição de probabilidade normal, pois a variabilidade dos resultados encontrados foi muito alta.

Os mapas de variabilidade foram elaborados a partir de estruturas de superfícies em rede por meio de coordenadas z dos pontos correspondentes a uma grade retangular no plano xy , que possibilitou encontrar as curvas de nível. Foi possível observar que as características do solo são contínuas em determinadas regiões e que a variabilidade espacial é compatível para diversas propriedades diferentes.

O trabalho aqui apresentado é o estágio inicial de um estudo no qual se propõe que a metodologia seja adotada para os demais ensaios de laboratório executados no sítio, a fim de proporcionar uma visão espacial de diversas propriedades do solo e correlacioná-las.

Além disso, pretende-se aumentar a amostragem intermediária para validar as interpolações das curvas de nível traçadas.

AGRADECIMENTOS

Ao CEFET-MG pelas bolsas de extensão que permitiram este estudo.

A FAPEMIG pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
- Costa, R.D. (2012) Mapa geológico, escala 1:100.000 (série geologia do Brasil), versão digital. CPRM.
- Dyminski, A. S.; Kormann, A. C. M.; Shuttle e D. E. Howie, J. (2006). Variability analysis of SPT and CPT data for a reability-based embankment design of a southern Brazilian port side. In: *Anais III Congresso Luso-brasileiro de Geotecnia*. Curitiba.
- Gomes, F. P.; Garcia, C. H.(2002). Estatística Aplicada a Experimentos Agronômicos e Florestais, Piracicaba: FEALQ, 305p.
- Guedes Filho, O. (2009). Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta. Campinas: Instituto Agrônômico, 97 p.
- Massey, F. J. (1951). The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit, Journal of the American Statistical Association, vol 46, p. 68-78.
- PROFERT-MG. (2005). Manual do Laboratorista, 1ª ed, 33 p.
- Vieira, S.R. (2000). Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.H.; Schaefer, G.R. (eds) Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457: Amostras de Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.