



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

JÉSSICA BÁRBARA DA SILVA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

**RECIFE
2019.2**

JÉSSICA BÁRBARA DA SILVA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

**AVALIAÇÃO DA DRENABILIDADE DE SOLO EM ÁREA
DEGRADADA POR ENCHARCAMENTO NO CAMPUS SEDE DA
UFRPE**

Relatório apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco Pernambuco, como pré-requisito para obtenção de nota da disciplina Estágio Supervisionado Obrigatório, sob orientação do Professor Vicente de Paulo Silva.

**RECIFE
2019.2**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586a Silva, Jéssica Bárbara da
Avaliação da Drenabilidade de Solo em Área Degradada por Encharcamento no Campus Sede da UFRPE / Jéssica Bárbara da Silva. - 2019.
33 f. : il.

Orientador: Vicente de Paulo.
Inclui referências e anexo(s).

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental, Recife, 2019.

1. drenagem. 2. lençol freático. 3. mapeamento. I. Paulo, Vicente de, orient. II. Título

CDD 628

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

AVALIAÇÃO DA DRENABILIDADE DE SOLO EM ÁREA DEGRADADA POR ENCHARCAMENTO NO CAMPUS SEDE DA UFRPE

Jéssica Bárbara da Silva

Vicente de Paulo Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a espiritualidade por ter me dado forças e sabedoria para seguir em frente e chegar aonde cheguei.

À minha família e meu noivo Renato pelo amor, carinho e incentivo ao estudo e à pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Vicente pela oportunidade de trabalhar neste projeto, pelo conhecimento dado, dúvidas esclarecidas e o incentivo para prosseguir no caminho da pesquisa.

Aos meus colaboradores Fábio, Géssica, Eunice, Sunamita e em especial a Eric pelo auxílio na execução do projeto, sem eles não tinha conseguido dá andamento.

À UFRPE, pelo apoio dado e formação de qualidade concedida.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Imagem de satélite da área de estudo do projeto	14
Figura 02 - Perfil das Sondagens nos Pontos C4, D4 e H3 após Tradagens	15
Figura 03 – Esquema do perfil do solo para a realização do teste de condutividade hidráulica para o Método do Furo de Trado na Presença do Lençol Freático utilizado no experimento.....	16
Figura 04 – Instrumentos utilizados no teste de condutividade hidráulica na presença do lençol freático	17
Figura 05 – Marcação das leituras	17
Figura 06 – Reservatório com água enchendo o ponto de sondagem para a realização dos testes de condutividade hidráulica	18
Figura 07 – Esquema do perfil do solo para a realização do teste de Condutividade Hidráulica para Método do Furo de Trado na Presença do Lençol Freático utilizado no experimento	18
Figura 08 – Gráfico do perfil dos pontos de sondagem da linha 0	20
Figura 09 – Gráfico do perfil dos pontos de sondagem da linha 1	20
Figura 10 – Gráfico do perfil dos pontos de sondagem da linha 2	20
Figura 11 – Gráfico do perfil dos pontos de sondagem da linha 3	20
Figura 12 – Gráfico do perfil dos pontos de sondagem da linha 4	20
Figura 13 – Gráfico do perfil dos pontos de sondagem da linha 5	20
Figura 14 – Mapa das isóbatas da área de estudo	21
Figura 15 – Mapa das isóbatas dos testes realizados	23
Figura 16 – Visualização da planilha do GS+ com a matriz de variável K	

e os dados estatísticos formulados	24
Figura 17 – Demonstração dos dados estatísticos e histograma antes e depois da transformação logarítmica	24
Figura 18 – Demonstração comparativa dos gráficos de distribuição antes e após a transformação logarítmica	25
Figura 19 – Gráfico de localização espacial dos pontos de condutividade hidráulica	25
Figura 20 – Esquema do GS+ para o variograma isotrópico de tipo esférico escolhido para a representação da condutividade hidráulica com transformação logarítmica	26
Figura 21 – Mapa 2D de isolinhas de condutividade hidráulica a partir do variograma esférico e a krigagem	26
Figura 22 – Mapa 3D de isolinhas de condutividade hidráulica a partir do variograma esférico e a krigagem	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Condutividade hidráulica dos pontos de sondagem realizados a partir dos testes dos métodos de furo na presença e na ausência do lençol freático	22
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

CEAGRI – Centro de Ensino de Ciências Agrárias

UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo Geral	11
2.2. Objetivos Específicos	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO	12
4- METODOLOGIA	14
4.1. Área de Estudo	14
4.2. Coleta de Dados	15
4.3. Análise de Dados	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6. CONCLUSÃO/ CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
ANEXO I	31
ANEXO II	31

-

1. INTRODUÇÃO

Em um terreno destinado à produção agrícola é de fundamental importância que o solo tenha teor de umidade favorável à germinação e desenvolvimento de culturas. Assim, é preciso que haja um equilíbrio da relação entre água, oxigênio e nutrientes na região das raízes para a manutenção da sobrevivência das plantas. Dessa forma, áreas com solo em excesso de umidade por longos períodos necessitam de adoção do sistema de drenagem agrícola.

A drenagem agrícola é essencial para o aproveitamento hidroagrícola, de forma a facilitar a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, evitando a ocorrência de alagamentos, encharcamento e salinização, e assim proporcionar o aumento e melhoria da produtividade e qualidade dos produtos agrícolas.

Para a implantação de um sistema de drenagem, é necessário fazer uma análise hidropedológica da área e dessa forma é fundamental a análise da condutividade hidráulica do solo. A condutividade hidráulica permite analisar a facilidade em que a água perpassa no solo e varia de acordo com a sua porosidade. A identificação da condutividade hidráulica pode ser realizada por métodos de ensaios em campo ou em laboratório.

A partir da identificação da condutividade hidráulica do terreno agrícola, é possível verificar os pontos de carga e descarga do lençol freático e assim dimensionar o local adequado para a projeção do sistema de drenagem. Para isso, podem ser utilizados softwares para auxiliar nas análises dos dados.

Em vista disso, o trabalho realizado nesta pesquisa teve como intuito avaliar a drenabilidade do solo de um terreno que sofre periodicamente encharcamento, localizado dentro da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, através dos métodos de campo de teste de furo de trado tanto na presença como na ausência do lençol freático, para a identificação da condutividade hidráulica do solo, e dos programas Excel, Surfer e GS+ para a análise espacial dos dados obtidos na área.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a drenabilidade do solo de uma área degradada por encharcamento no Campus Sede da UFRPE através de mapas temáticos.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar as propriedades hidrológicas do solo a partir do monitoramento do lençol freático em diferentes sazonalidades;
- Analisar o comportamento do lençol freático em relação a sua profundidade nas diferentes épocas;
- Analisar o comportamento do fluxo subterrâneo e a identificação das condições de recarga e de descarga nos diferentes períodos (úmido e seco);
- Caracterizar a dimensão do fluxo subterrâneo existentes nas condições no período úmido e seco.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

A drenagem ineficiente do solo, segundo Cruciani (1989), geralmente está acompanhada de deficiência em O_2 . Isto ocorre porque o excesso de água no terreno provoca a redução de trocas gasosas entre o solo e o ar atmosférico, que conseqüentemente reduz a respiração e o volume total das raízes e provoca aumento da resistência no transporte de água e nutrientes e a formação de toxinas no solo e nas plantas. Além disso, a aeração deficiente no solo provoca a diminuição da atividade bacteriana e a conseqüente redução de íons de amônia (NH_3^+) e nitratos (NO_3^-) no meio.

A drenagem de solos agrícolas, de acordo com Sampaio et Al (2016), é a retirada do excesso de água do solo, proveniente da irrigação ou chuvas intensas, de forma a proporcionar condições de aeração, estruturação, resistência e lixiviação dos sais da irrigação, possibilitando o controle de salinidade e da elevação do lençol freático e o crescimento normal dos cultivos.

Segundo Ferreira et Al (2009), os sistemas de drenagem são essenciais para prevenir inundações em terrenos baixos, além de atuar no controle do lençol freático, recuperação de solos salinizados e promover condições favoráveis às diferentes ações, como mecanização, colheita e transporte da produção agrícola, entre outras. No entanto, a drenagem excessiva é indesejável, visto que diminui a quantidade de água disponível no solo para a cultura e favorece a lixiviação de nutrientes fertilizantes, que podem poluir o lençol freático e os cursos de água, além de aumentar o investimento por área.

Contudo, para projetar um adequado sistema de drenagem, é necessário analisar a condutividade hidráulica do solo, que, de acordo com Gonçalves & Libardi (2013), é uma propriedade que identifica a facilidade com que a água nele se move. Informam também que a condutividade hidráulica do solo é importante para o manejo do solo, produção de culturas e preservação do ambiente, e pode ser feita por métodos de laboratório e de campo, em que o primeiro tem maior controle das condições experimentais, e o segundo, com menor grau de perturbação do solo.

De acordo com Batista et Al (2002), para o movimento da água no solo, todo teste de condutividade é baseado no princípio da lei de Darcy, em que afirma que “o fluxo da água através de um solo saturado é diretamente proporcional à carga hidráulica e inversamente proporcional à coluna do solo”. Assim:

$$Q = K i A$$

Q = descarga em cm^3/h

K = condutividade hidráulica em cm/h ou m/dia

A = área de fluxo em cm^2

i = gradiente hidráulico

Cruciani (1989) informa que a condutividade hidráulica do solo (K) é uma de suas propriedades físicas mais relevantes para projetos e pesquisa de drenagem e pode ser determinado tanto abaixo do reservatório de água subterrânea (na presença do lençol freático), quanto acima dele (na ausência do lençol freático).

Em consonância, Batista et Al (2002) afirmam também que para obter o valor de “K” no campo, existem diversos métodos, como o teste de furo de trado em presença do lençol freático, o teste de furo de trado na ausência do lençol freático, o teste de piezômetro e o teste do anel permeâmetro. Os três primeiros fazem a medição da condutividade hidráulica horizontal, enquanto que o último realiza a medição da condutividade hidráulica vertical.

Contudo, para um correto funcionamento dos sistemas de drenagem, é necessário um estudo topográfico do terreno e uma breve avaliação das isolinhas, como as isóbatas (linhas de igual profundidade do lençol freático) e as linhas de isocondutividade hidráulica, em mapas representativos. As isolinhas podem ser obtidas com o auxílio do programa Surfer®, que segundo Cavalcanti et Al (2010), é um pacote de programas comerciais produzidos pela Golden Software Inc. que através dele pode-se desenvolver mapas de variáveis a partir de dados espacialmente distribuídos, como por exemplo, mapas topográficos. Conforme Duarte et Al (2015), o mapa das isóbatas mostra com clareza o local onde o problema de excesso de água no solo é mais crítico, ou seja, onde o terreno é mais baixo ou a condutividade hidráulica é menor, e também exibe até onde a malha de

drenos de campo pode se estender, que geralmente não fica muito visível quando a área é plana e está coberta de vegetação.

A análise de dados de condutividade hidráulica também pode ser obtida através da geoestatística, que de acordo com Guimarães (2004), este método tem interesse em determinar a dependência espacial das observações de uma variável. Um dos programas computacionais específicos para a aplicação da geoestatística é o GS+, desenvolvido pela Gamma Design.

4. METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

A pesquisa foi realizada em um terreno de 1.600m², localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Campus Dois Irmãos, próximo ao prédio do CEAGRI 2, na cidade de Recife, de latitude -08°03'14" e longitude -34°52'52" (Figura 01). O período de pesquisa foi entre agosto de 2016 a julho de 2017, no qual foi aproveitado o tempo chuvoso e de estiagem para melhor análise da drenabilidade do solo.

A área, de acordo com Santos (1989), possui solo de classificação podzol álico hidromórfico a fraco com presença de duripan. O terreno é plano com presença de gramíneas nativas e é imperfeitamente drenado.

Figura 01 – Imagem de satélite da área de estudo do projeto.



Fonte: Google Earth, 2017.

4.2. Coleta de Dados

Inicialmente, foi realizado um estudo topográfico da área de forma a definir as distâncias entre os pontos a serem utilizados no plano de sondagem e auxiliar o estudo hidropedológico do terreno. Determinou-se a equidistância de 5 metros no sentido Leste-Oeste e 8 metros no sentido Norte-Sul, que totaliza 54 pontos. Para a pesquisa, optou-se pela sondagem dos 48 pontos mais internos e expressivos da área.

As sondagens foram realizadas até a profundidade em que se encontrava a camada de impedimento (Duripã) ou onde se tornava impossível de ultrapassar (seja devido a formações rochosas ou camadas compactadas), com o auxílio do instrumento trado tipo holandês. Foram utilizadas também lona plástica, mira falante, trena e escalímetro para realizar as medições dos furos e dos perfis de sondagem (Figura 02).

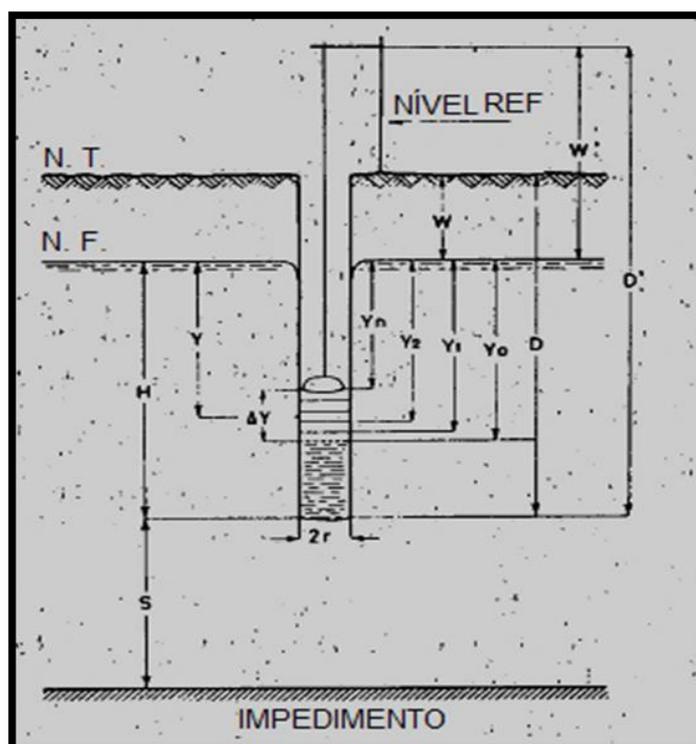
Figura 02 - Perfil das Sondagens nos Pontos C4, D4 e H3 após Tradagens.



Depois de concluídas as sondagens, foram feitas as medições do lençol freático, respeitando-se um período de tempo de um dia para que houvesse a recarga nos furos produzidos. A partir de medições realizadas com auxílio de medidor de lençol freático e trenas, foram encontrados os valores de profundidade do lençol freático, que, posteriormente, os dados foram repassados para uma planilha do Software Microsoft Office Excel.

Após esta etapa, foram iniciados os testes de condutividade hidráulica na presença do lençol freático nos pontos que possuíam maior recarga (sete pontos de sondagem), com o auxílio de instrumentos como o trado tipo holandês, tubo de ferro telado, bóia, trena, escopo de suporte (referencial de nível), cano bomba manual para retirar a água do furo e vara de medição (Figura 04). Os dados obtidos foram anotados na ficha padrão para o método do furo de trado na presença do lençol freático (Figura 03) que consta no anexo I. De acordo com Batista et Al (2002), geralmente existem variações nos valores de condutividade hidráulica obtidos para testes conduzidos em pontos aproximados e assim necessita da condução de vários testes em uma unidade de solo com finalidade de estimar um valor médio de K que represente a magnitude da condutividade hidráulica da camada testada. Assim, foram realizados três ensaios para cada furo e considerado o valor da mediana como significativo para os resultados.

Figura 03 – Esquema do perfil do solo para a realização do teste de condutividade hidráulica para o Método do Furo de Trado na Presença do Lençol Freático utilizado no experimento.



Para o teste de condutividade hidráulica em presença do lençol freático, as leituras do nível da água foram realizadas a cada 20s e para os cálculos (Figura 05), foi considerado que:

D = profundidade do furo

D' = D + altura do nível de referência.

W = distância entre o nível do terreno e o nível do lençol freático.

W' = W + altura do nível de referência

H = nível inicial do lençol freático

S = distância do fundo do furo até a camada de impedimento.

r = raio do furo

$Y_0 = Y'_0 - W'$

Y't = leituras do nível de referencia ao nível do lençol

$\Delta Y_t = Y't - Y'_0$

$\Delta Y = Y'_0 - Y'n$

K = condutividade hidráulica (m/dia)

Para $S > 0,5H$: $K = \frac{4000 * r^2}{((H + 20r) * (2 - y/H) * y)} * \frac{\Delta y}{\Delta t}$

Para $S = H$: $K = \frac{3600 * r^2}{((H + 10r) * (2 - y/H) * y)} * \frac{\Delta y}{\Delta t}$

Figura 04 – Instrumentos utilizados no teste de Condutividade hidráulica na presença do lençol freático.



Figura 05 – Marcação das leituras das alturas do nível do lençol freático ao nível de referência (Y't).



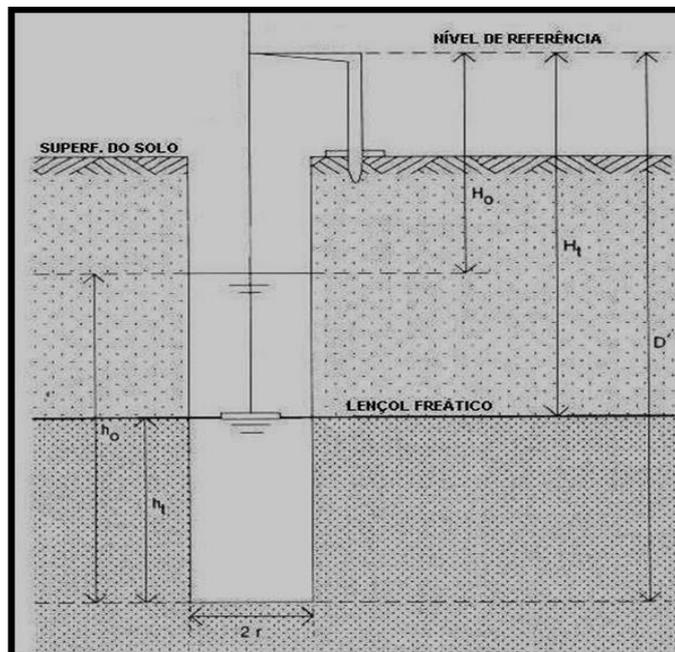
Nos pontos que não apresentaram recarga de água, foram realizados os testes de condutividade hidráulica pelo método de furo de trado na ausência do lençol freático. Neste método utilizaram-se os mesmos instrumentos usados pelo sistema anterior

(exceto a bomba manual de sucção de água), com acréscimo de reservatório de água, carro de mão e uma mangueira conectada a uma bóia (Figura 06). Os dados obtidos foram anotados na ficha padrão para o método do furo de trado na ausência do lençol freático (Figura 07) que consta nos anexo II.

Figura 06 – Reservatório com água enchendo o ponto de sondagem para a realização dos testes de condutividade hidráulica.



Figura 07 – Esquema do perfil do solo para a realização do teste de Condutividade Hidráulica para Método do Furo de Trado na Presença do Lençol Freático utilizado no experimento.



Foi realizado apenas um ensaio no teste de condutividade hidráulica na ausência do lençol freático, visto que o método utilizado demanda de mais tempo para ser executado. Para os cálculos, foram considerados:

h_t = altura do nível do lençol em relação ao nível de referência

$h_t = D' - H_t$

h_0 = Altura inicial do nível do lençol

$$K = 993,6 \times r \times \frac{\log(h_0 + \frac{r}{2}) - \log(h_t + \frac{r}{2})}{t_n - h_t} \text{ (m/dia) ou}$$

$$K = 432 \times r \times \frac{\ln(h_0 + \frac{r}{2}) - \ln(h_t + \frac{r}{2})}{t_n - h_t} \text{ (m/dia)}$$

4.2. Análise dos Dados

Os dados das profundidades do lençol freático, obtidos após perfuração dos poços de observação, foram importados da planilha do Excel para o Software Surfer, no qual foi aplicado o método de interpolação “Krigagem”, de forma a desenvolver o mapa das isóbatas para auxiliar na análise do terreno e testes de condutividade hidráulica. Também foram desenvolvidos gráficos no Excel para melhor demonstração do perfil dos pontos de sondagem.

A partir dos dados obtidos nos testes de condutividade hidráulica, foi elaborado o mapa de isocondutividade hidráulica, através do programa Surfer e do programa GS+, ambos utilizando o método de krigagem.

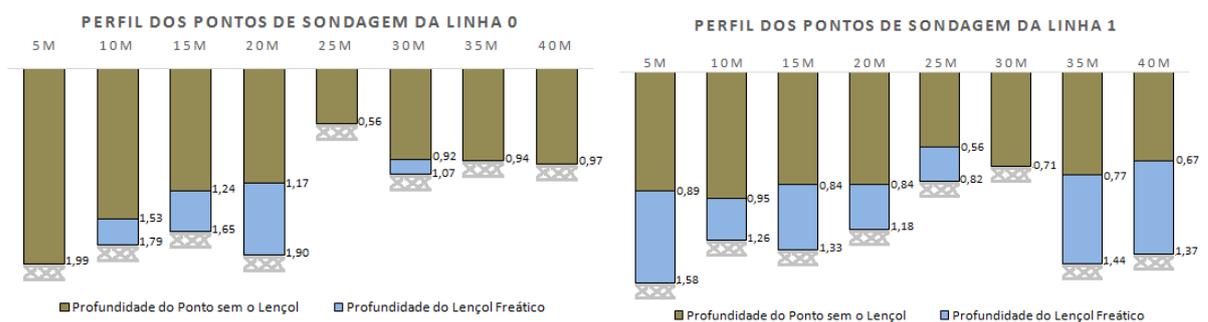
De acordo com Guimarães (2004), a análise espacial de dados, método da geoestatística em que neste trabalho foi realizado pelo GS+, é considerada como uma alternativa e/ou uma complementação da análise clássica de dados, porém, neste caso, considera as correlações entre as observações ao realizar as estimativas. No caso deste trabalho, a análise espacial de dados tem ênfase na análise do semivariograma, como ferramenta para determinar a dependência espacial. Assim, com a análise bidimensional (coordenadas X e Y) pode-se verificar o comportamento geoestatístico da variável da condutividade hidráulica (K), ou seja, as estatísticas, o histograma, a distribuição das amostras, a análise dos tipos de

semivariograma e por fim a krigagem para a formulação dos mapas em 2D e 3D. Na geoestatística, recomenda-se de no mínimo 45 pontos de amostragem, mas que pode variar de acordo com o objetivo do estudo. Como em prática experimental é suficiente um teste para cada hectare, na área de estudo que possui 0,16 hectares para a modelagem geoestatística, foram utilizados 25 resultados de testes para amostragem.

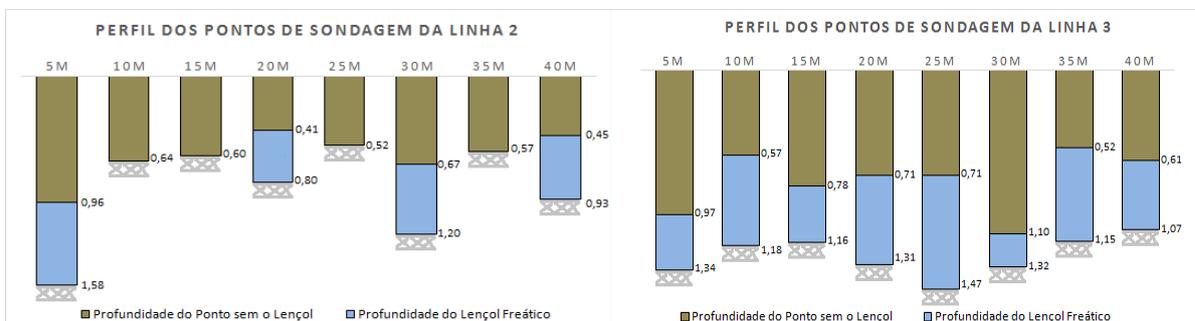
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao realizar o estudo topográfico do terreno e marcar os pontos, pode-se fazer as sondagens. Após as sondagens, foi visto que em 77% dos pontos havia a presença de lençol freático, cuja profundidade variou de 0,12m a 0,87m. Abaixo segue os gráficos comparativos dos pontos sondados.

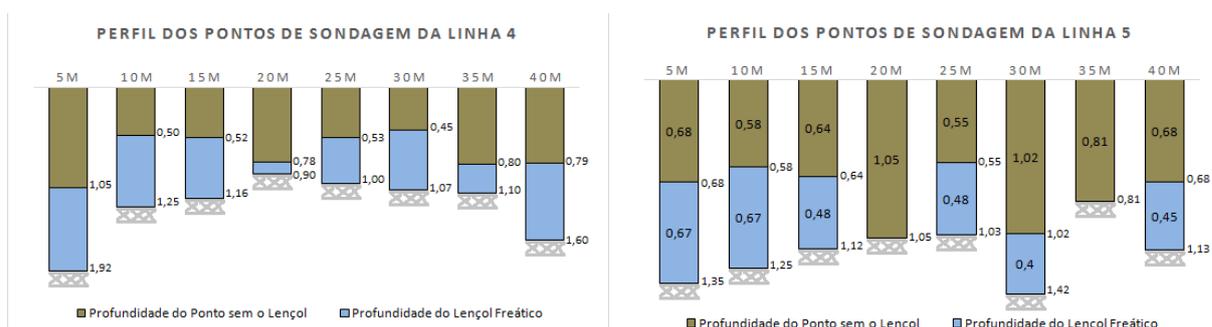
Figuras 08 e 09 – Gráficos do perfil dos pontos de sondagem da linha 0 e 1, respectivamente.



Figuras 10 e 11 – Gráficos do perfil dos pontos de sondagem da linha 2 e 3, respectivamente.

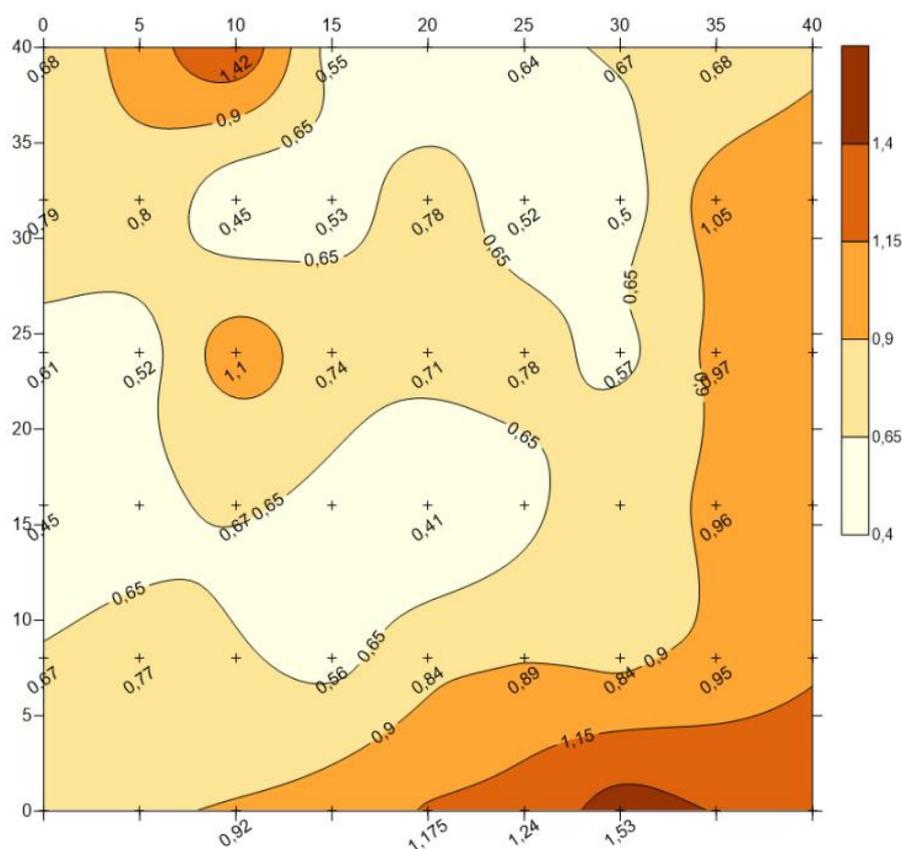


Figuras 12 e 13 – Gráficos do perfil dos pontos de sondagem da linha 4 e 5, respectivamente.



Com os valores da profundidade do lençol freático, foi realizada a interpolação desses dados no programa Surfer e pode-se obter o mapa das isóbatas (Figura 14). Através do mapa, podemos observar que a profundidade do lençol freático varia de 0,65m a 1,15m.

Figura 14 – Mapa das isóbatas da área de estudo.



Dentre os 37 pontos que havia a presença do lençol freático, em apenas 07 pontos pode-se realizar o teste de condutividade hidráulica na presença do lençol freático, devido tanto ao período de estiagem que o nível de água de vários pontos estava

abaixo de 30 cm, quanto no período chuvoso, que a área se encontrava alagada, no qual prejudicava a aplicação do método. Foram realizados três ensaios para cada furo e considerado o valor da mediana como valor significativo. Assim, pode-se identificar que nos furos foi registrada uma condutividade hidráulica que variou de 1,264m/dia a 9,853m/dia.

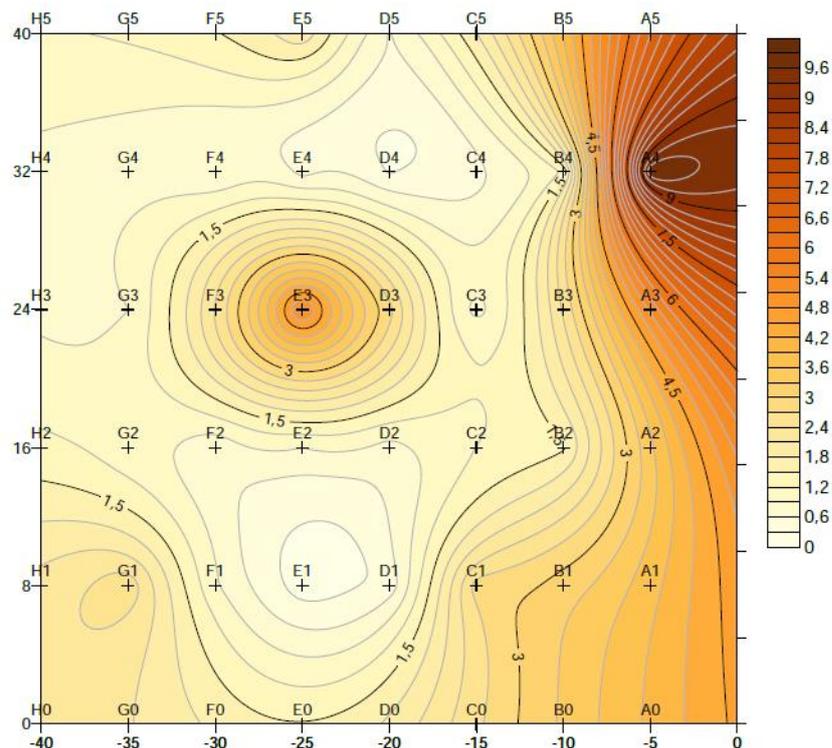
Nos pontos em que o lençol freático estava ausente, foram iniciados os testes de condutividade hidráulica pelo método de furo de trado na ausência do lençol freático. Foram realizados o teste em 18 pontos, cujo valor de condutividade hidráulica variou de 0,1623 m/dia a 2,446 m/dia (Tabela 01).

Tabela 01 – Condutividade hidráulica dos pontos de sondagem realizados a partir dos testes dos métodos de furo na presença e na ausência do lençol freático.

Método	Pontos de Sondagem	K (m/dia)
Furo de Trado na Presença do Lençol Freático	A4	9,853
	B1	3,145
	B4	1,264
	C1	2,822
	D3	2,80
	E3	5,197
	G1	2,595
Furo de Trado na Ausência do Lençol Freático	B2	1,464
	B3	2,446
	C2	1,204
	C3	0,8097
	D1	0,414
	D2	0,7888
	D4	0,2755
	D5	0,589
	E1	0,1623
	E2	0,8989
	E4	0,5088
	E5	2,014
	F1	0,9489
	F2	0,698
	F4	0,6185
	G1	2,595
	G2	1,004
	G3	0,8956

Os dados obtidos dos testes de condutividade hidráulica foram repassados para o Excel e importados para o surfer, que através do método de krigagem, formulou o mapa das isóbatas (figura 15). No mapa podem-se visualizar melhor as regiões de maior e menor K. Dos 25 testes realizados na área, foi observado que a condutividade hidráulica (K) varia de 0,1623 m/dia a 9,853 m/dia.

Figura 15 – Mapa das isóbatas dos testes realizados.



Estes mesmos dados foram repassados para o GS+ para ser feita a análise geoestatística. Como a condutividade hidráulica é uma variável assimétrica (figura 16), foi necessário realizar a transformação logarítmica dos dados para que atenda as hipóteses básicas da metodologia. Assim, na figura 17 mostra a comparação dos dados estatísticos da variável K assimétrico e transformado. Com os dados assimétricos, apresenta-se uma média de 1,787 (m/dia), com uma dispersão média em torno desse valor de 2,042 (m/dia). O menor valor observado foi de 0,16 (m/dia) e o maior foi de 9,85 (m/dia) e o histograma mostra bem claro a tendência assimétrica dos dados, que pode ser verificado também pelos coeficientes de assimetria e curtose associados aos seus respectivos erros padrão que são respectivamente: $2,74 \pm 0,46$ e $7,96 \pm 0,90$, indicando uma distribuição assimétrica positiva e leptocúrtica.

Ao transformar os dados, verifica-se que os dados tendem à simetria, porém não perfeita, como consta no histograma. Assim, verificou-se que a média passou a apresentar um valor de 0,159 (m/dia), com uma dispersão média em torno de 0,918 (m/dia). O valor máximo passou a ser de 2,29 (m/dia) e o mínimo de -1,83 (m/dia), com os coeficientes de assimetria e curtose e seus respectivos erros padrão com valores de $0,16 \pm 0,46$ e $0,08 \pm 0,90$, respectivamente, que indica uma distribuição que tende a ser simétrica e mesocúrtica. Verifica-se que os erros padrão continuam os mesmos apesar da transformação logarítmica, mas com os dados simétricos podem-se obter resultados mais representativos para descrever o comportamento da condutividade hidráulica da área pelo método geoestatístico.

Figura 16 – Visualização da planilha do GS+ com a matriz de variável K e os dados estatísticos formulados.

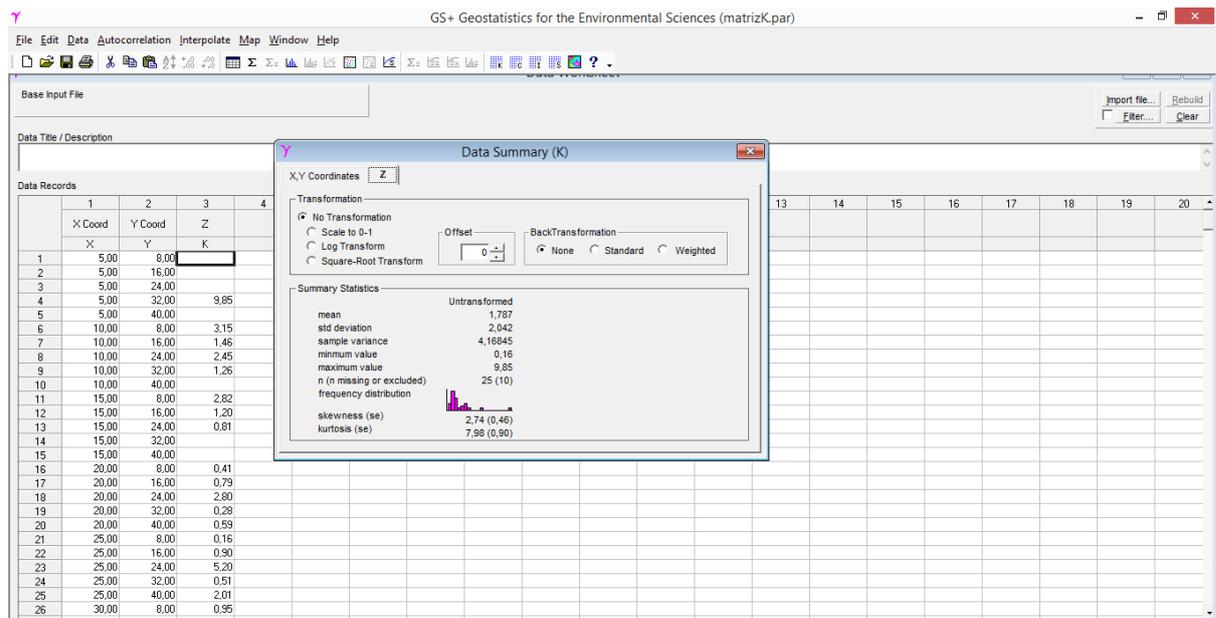
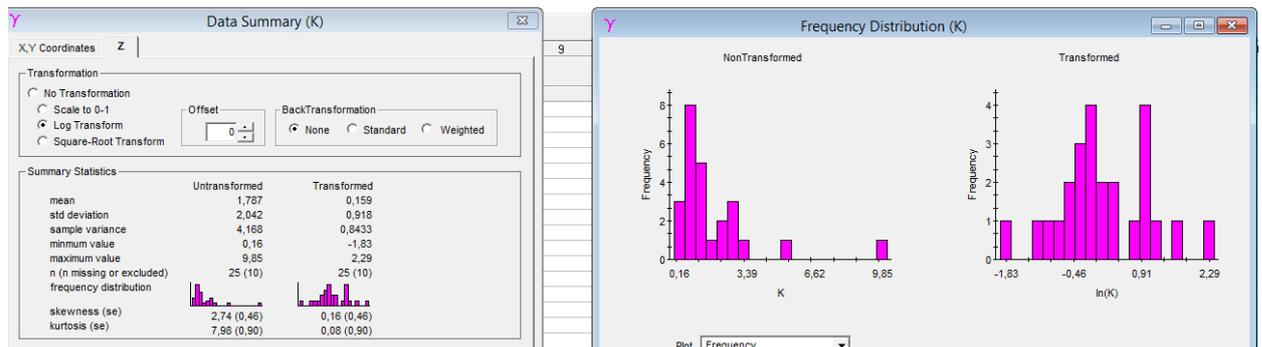
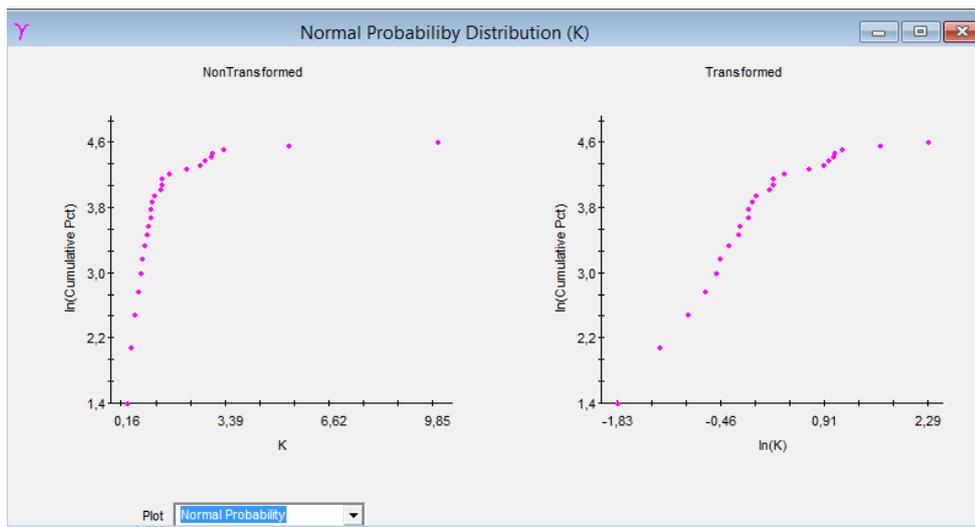


Figura 17 – Demonstração dos dados estatísticos e histograma antes e depois da transformação logarítmica.



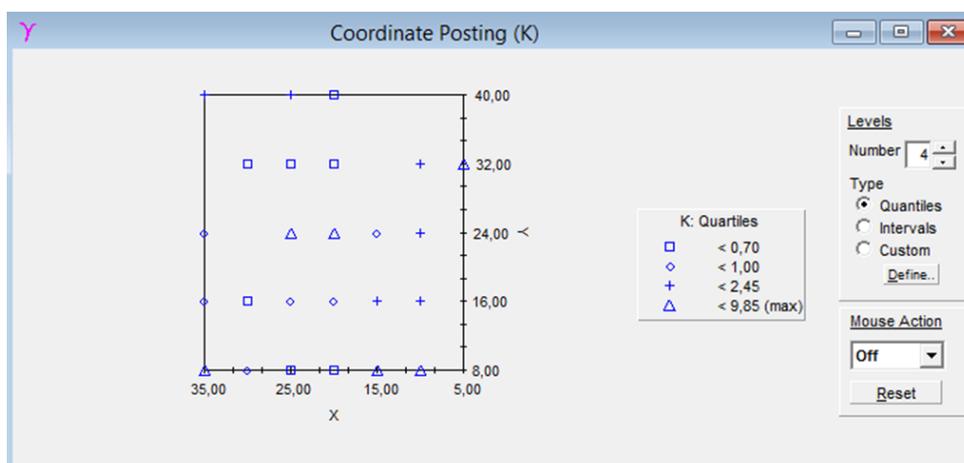
No GS+ foi possível visualizar o gráfico de distribuição normal dos dados da condutividade hidráulica e comparar os resultados tanto assimétricos, quanto com transformação logarítmica (figura 18) e dessa forma, verifica-se a transformação de uma distribuição com assimetria positiva e leptocúrtica para uma distribuição simétrica e mesocúrtica.

Figura 18 – Demonstração comparativa dos gráficos de distribuição antes e após a transformação logarítmica.



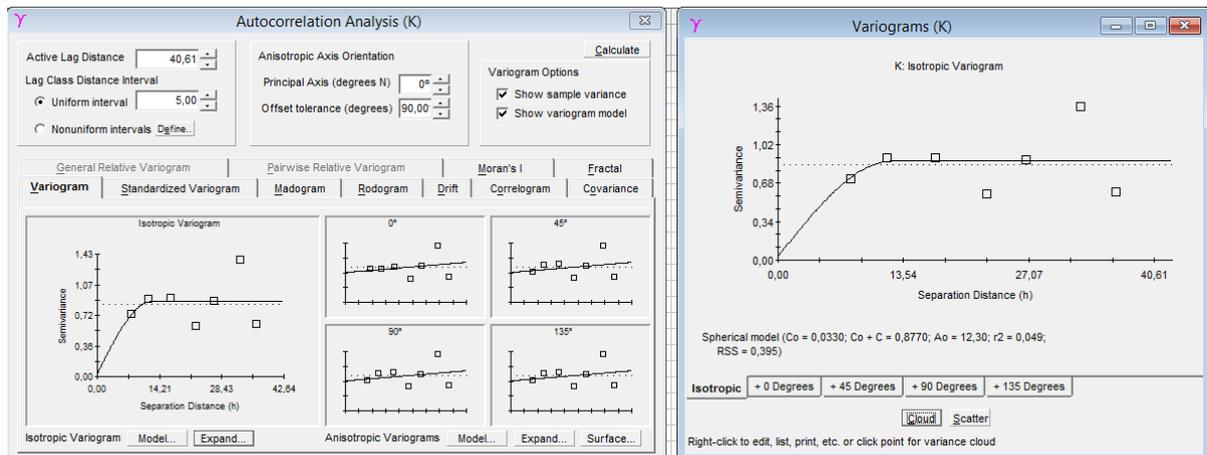
Outra análise feita no GS+ é a localização espacial dos pontos amostrais com relação ao intervalo de ocorrência, em que são dividido os valores em quartis (no trabalho foi dividido em 4 quartis) e cada um deles é representado por uma figura no gráfico (figura 19).

Figura 19 – Gráfico de localização espacial dos pontos de condutividade hidráulica.



A análise da dependência espacial foi feita por meio do semivariograma. Foi escolhido como modelo de semivariograma ajustado o modelo esférico, baseado na análise de que entre os demais este possuía um maior coeficiente de determinação (R²) e uma menor soma de quadrado de resíduos (RSS), cujos valores foram de 0,049 e 0,395, respectivamente (figura 20). O modelo possui o efeito pepita (C₀) de 0,033 (%)², patamar de 0,877 (%)² e alcance de 12,3m. Quanto ao grau de dependência espacial da variável, através da relação $C_0/(C_0+C) = 1 - C/(C_0+C)$, foi observado um valor de 0,038, ou seja, possui um grau fraco de dependência espacial.

Figura 20 – Esquema do GS+ para o variograma isotrópico de tipo esférico escolhido para a representação da condutividade hidráulica com transformação logarítmica.



Com esses ajustes, pode-se realizar a interpolação dos dados e conseqüentemente os mapas de visualização em 2D e em 3D de isocondutividade hidráulica, como seguem nas figuras 21 e 22. Assim, pode-se verificar no mapa que a condutividade é maior nos locais em que se encontram tons mais escuros.

Figura 21 – Mapa 2D de isolinhas de condutividade hidráulica a partir do variograma esférico e a krigagem.

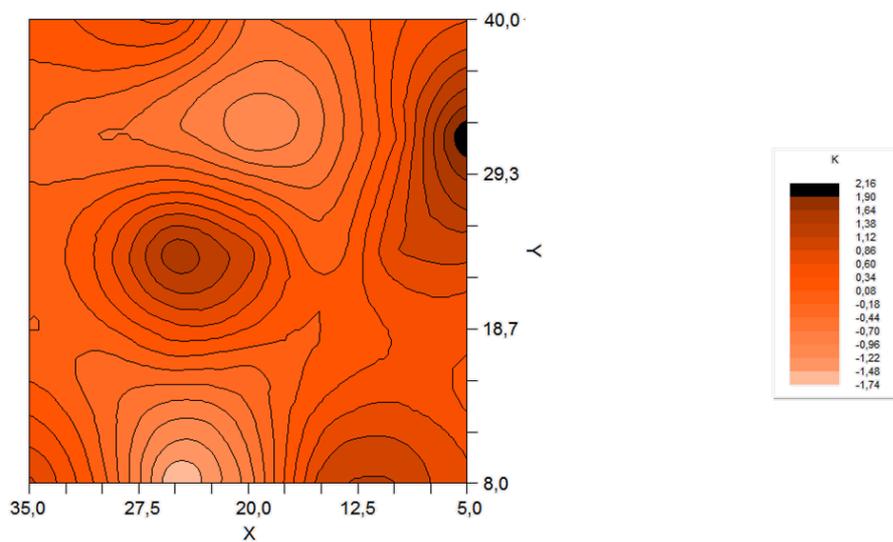
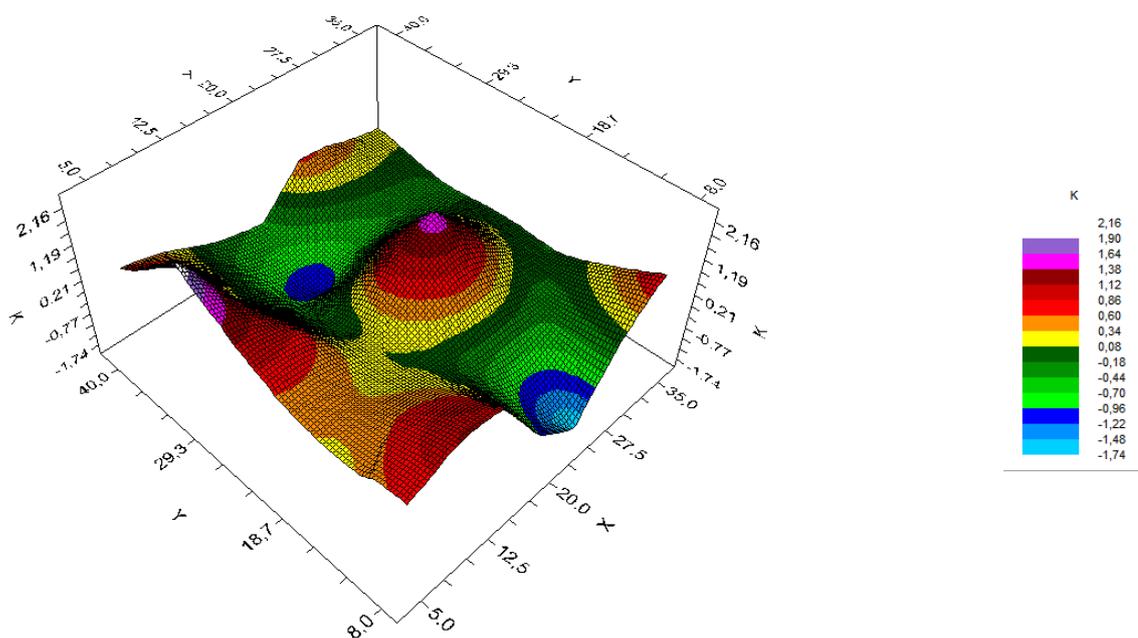


Figura 22 – Mapa 3D de isolinhas de condutividade hidráulica a partir do variograma esférico e a krigagem.



6. CONCLUSÕES / CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em vista dos aspectos apresentados, constatou-se que a condutividade hidráulica, como propriedade hidrológica do solo, apresentou variabilidade de 0,16 a 9,8 m/dia, caracterizando uma assimetria nos valores desse atributo do solo, que ficou bem mais evidente na análise geoestatística, necessitando de ajuste logarítmico. Além disso, o monitoramento do lençol freático mostrou que a profundidade do mesmo variou entre 0,4 a 1,2m, de forma que culturas não podem ser cultivadas devido ao encharcamento em relação ao sistema radicular, visto que as raízes apodrecem após três dias consecutivos com o excesso de umidade. O mapa das isóbatas mostra evidente o comportamento do lençol freático em relação a problemática da drenabilidade do solo e os mapas de isolinhas de condutividade hidráulica especifica o fluxo dinâmico que a água percorre sob o solo, sendo fundamentais para calcular os drenos específicos para melhorar a drenagem local. Assim, justifica a necessidade do estudo da implantação de um sistema de drenagem para melhorar as condições ambientais e produtivas do solo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, M. J.; NOVAES, F.; SANTOS, D. G; SUGUINO, H. H. **Drenagem como Instrumento de Dessanilização e Prevenção da Salinização de Solos**. 2ª Ed. Ver. e Ampliada. Brasília: CODEVASF, 2002. 216 pgs.

CAVALCANTI, R. A.; BARRETO, A. C.; CRUZ, O. C.; VALLE JUNIOR, R. F. Determinação das Linhas de Fluxo do Lençol Freático Usando o Software Surfer ® como Ferramenta. **III Seminário de Iniciação Científica e Inovação Tecnológica**. IFTM – Campus Rio Pomba. Cód.386, Out. 2010. Disponível em: <http://www.iftm.edu.br/proreitorias/pesquisa/3o_seminario/trabalhos/info_derminacao_das_linhas.pdf> Acesso em: 28 Fev. 2017.

CRUCIANI, D. E. **A Drenagem na Agricultura**. 4ª Ed. São Paulo: Nobel, 1989. 337pgs.

FERREIRA, A. C.; LIMA, V. L. A.; MEDEIROS, J. X.; BARACUHY, J. G. V. Desempenho entre Materiais Alternativos de Drenagem Subterrânea. **Revista Educação Agrícola Superior**, Brasília – DF, V.24, n.1, p. 27-31, 2009. Disponível em: <http://www.abeas.com.br/wt/files/7_2009_1.pdf> Acessado em: 5 jan. 2017.

GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. Análise da Determinação da Condutividade Hidráulica do Solo pelo Método do Perfil Instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, V.37, n.5, p.1174-1184, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000500007&lng=en&nrm=iso> Acessado em: 10 jan. 2017.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística Básica e Aplicada**. Uberlândia, 2004. 78pgs.

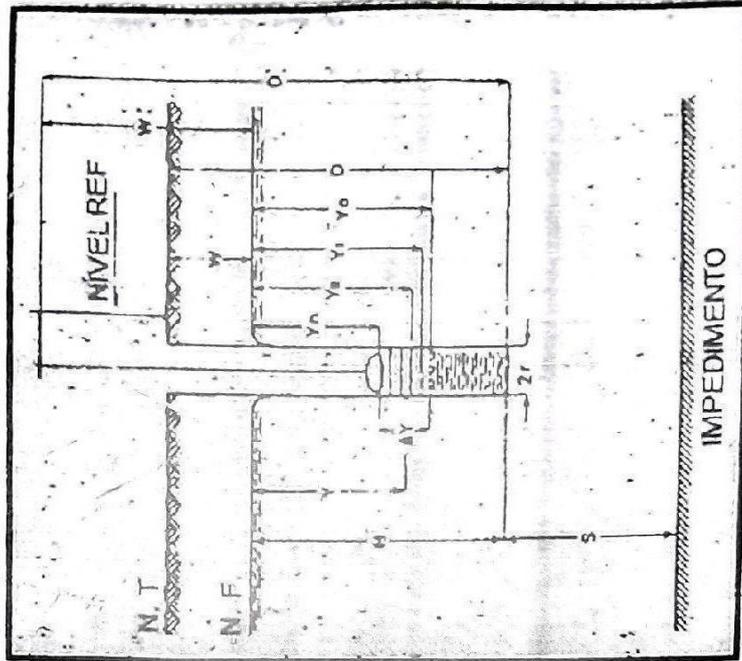
SAMPAIO, P. R. F.; FANAYA JÚNIOR, E. D.; SILVA, J. L. A.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. H. Estimativa de Fluxo de Drenagem e Altura de Lençol Freático em Solos de Texturas Distintas. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 70-80, 2016. Disponível em: <<http://200.145.140.50/index.php/irriga/article/view/2404>> Acesso em: 31 mai 2018.

SANTOS, S. C. Capacidade de Uso das Terras da Universidade Federal Rural de Pernambuco Campus Dois Irmãos – Recife. 1989. 175fls. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

TESTE DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA
MÉTOD DO FURO DE TRADO NA PRESENÇA DO LENÇOL FREÁTICO

Nº do Ensaio: _____ Data: _____
 Localidade: _____ Observação: _____

Leituras	t (s)	Y _t (cm)	ΔY _t (cm)	Y ₀ = Y' ₀ - W' = ΔY < 0,25 (Y' ₀ - W') = ΔY = Y' ₀ - Y' _n = Y = Y ₀ - 0,5 ΔY = ΔY/Δt =
1				
2				
3				
4				
5				Sendo S > 0,5 H
6				$K = \frac{4000 \cdot r^2}{\left(H + 20r\right) \left(2 - \frac{2y}{H}\right)}$ x $\frac{\Delta y}{\Delta t}$
7				
8				
9				K (m/d) =
10				Sendo S = H
11				$K = \frac{3600 \cdot r^2}{\left(H + 10r\right) \left(2 - \frac{y}{H}\right)}$ x $\frac{\Delta y}{\Delta t}$
12				
13				K (m/d) =



ANEXO II

TESTE DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA
MÉTODO DO FURO DE TRADO NA AUSÊNCIA DO LENÇOL FREÁTICO

Nº do Ensaio:

Data:

Localidade:

Observação:

PROFUNDIDADE DO FURO DE TRADO D' (cm):

RAIO DO FURO DE TRADO r (cm):

Leituras	t (s)	H _t (cm)	h _t = D' - H _t (cm)	h _t + 1/2 . r (cm)
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

t ₀ =	h ₀ + 1/2 . r =	log (h ₀ + 1/2 . r) =
t _n =	h _n + 1/2 . r =	log (h _n + 1/2 . r) =

$$K = 993,6.r \frac{\log(h_0 + \frac{r}{2}) - \log(h_1 + \frac{r}{2})}{t_n - t_0} \quad (\text{m/dia})$$

$$K = 432.r \frac{\text{Ln}(h_0 + \frac{r}{2}) - \text{Ln}(h_1 + \frac{r}{2})}{t_n - t_0} \quad (\text{m/dia})$$

