



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**Jean Pereira Guimarães**

**DINÂMICA DA DRENAGEM EM SOLOS DA CAATINGA EM USO COM PALMA  
FORRAGEIRA IRRIGADA E CULTURAS DE SUBSISTÊNCIA**

Campina Grande, PB  
2017

**Jean Pereira Guimarães**

**DINÂMICA DA DRENAGEM EM SOLOS DA CAATINGA EM USO COM PALMA  
FORRAGEIRA IRRIGADA E CULTURAS DE SUBSISTÊNCIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Engenharia de Irrigação e Drenagem

Orientadoras: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Maria Sallydelândia Sobral Farias – UFCG/CTRN/UAEAg  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Vera Lúcia Antunes de Lima – UFCG/CTRN/UAEAg

Campina Grande, PB  
2017



**PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO**

**Jean Pereira Guimarães**

**DINÂMICA DA DRENAGEM EM SOLOS DA CAATINGA EM USO COM PALMA  
FORRAGEIRA IRRIGADA E CULTURAS DE SUBSISTÊNCIA**

Aprovado em \_\_\_\_\_

Banca Examinadora

Parecer

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Sallydelândia Sobral de Farias - Orientadora

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vera Lúcia Antunes de Lima - Orientadora

---

Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> José Dantas Neto - Examinador interno

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Riuzuani Michelle Bezerra Pedrosa Lopes - Examinadora externa

Campina Grande, PB  
2017

## **DEDICO**

### **A Deus**

*Aos meus pais, Gilvan Lima Guimarães e Luzimary Pereira Guimarães por serem os grandes responsáveis por mais essa conquista graças a todo o amor, carinho e dedicação de toda uma vida;*

## **OFEREÇO**

*Aos meus queridos irmãos Geovani Pereira Guimarães, Luanny Kelly Pereira Guimarães, e a minha namorada Aryadne Vilar, que sempre me ajudaram e apoiaram.*

## AGRADECIMENTO

A DEUS que, durante todo o período de realização deste trabalho, não deixou que meus ânimos e as minhas esperanças se abalassem pelas dificuldades.

Ao programa de Pós-Graduação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade em realizar o mestrado.

Ao CNPq - Centro Nacional de Pesquisas Tecnológicas, pelo apoio financeiro através da bolsa concedida.

Às minhas orientadoras Maria Sallydelândia Sobral de Farias e Vera Lúcia Antunes de Lima, pela atenção, apoio, companheirismo e pela confiança depositada em mim para realização deste trabalho.

Ao professor José Dantas Neto, pela disponibilidade e acolhimento na área que se realizou esta pesquisa.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG, pelo conhecimento compartilhado.

Aos funcionários da Pós-graduação de Engenharia Agrícola da UFCG, em especial a Aldaniza, Dona Cida, Gilson e Roberto, pela prestatividade e simpatia.

Aos amigos: Diego Xavier, Felipe Guedes, Patrício Leite e Rodolfo Brito, pela essencial ajuda na realização das atividades de campo desta pesquisa.

Aos colegas de pós-graduação: Elka Costa, Dalva Damiana, Felipe Guedes, Hallyson Oliveira, Jaricélia Sena, José Emídio, Leandro Sena, Maria Teresa Cristina, Mayra Melo, Rickson Tavares, Tainara Tamara pelo conhecimento compartilhado e momentos de descontração.

Aos funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade –LIS, Doutor (in memoriam), Wilson e Zé Maria, pelo apoio e agilidade na realização das análises de solo deste trabalho.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos específicos .....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	16
3.1 Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola e ambiental	16
3.2 Drenagem Agrícola.....	18
3.3 Parâmetros hidrodinâmicos do solo .....	19
3.3.1 Condutividade Hidráulica .....	19
3.3.2 Porosidade Drenável .....	20
3.4 Profundidade do nível freático.....	21
3.5 Salinidade do solo e sua relação com a condutividade hidráulica .....	23
3.6 Estatística descritiva .....	24
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1 Localização e caracterização geral das áreas de estudo.....	26
4.2 Aspectos fisiográficos das regiões de estudo.....	27
4.3 Análise Física do solo .....	29
4.3.1 Granulometria .....	31
4.3.2 Densidade do solo ( $D_s$ ).....	31
4.3.3 Densidade de partículas ( $D_p$ ).....	32
4.3.4 Porosidade total ( $P_t$ ) .....	33
4.3.5 Água do solo .....	33
4.4 Parâmetros hidrodinâmicos do solo .....	35
4.4.1 Porosidade Drenável - $\mu$ (%).....	35
4.4.2 Determinação da Condutividade Hidráulica ( $K_0$ ) .....	35
4.5 Confeção e instalação dos poços de observação .....	39

4.6 Avaliação do lençol freático .....	41
4.7 Análise estatística dos dados.....	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
5.1 Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola e ambiental	43
5.1.1 Granulometria .....	43
5.1.2 Densidade do solo - $D_s$ .....	50
5.1.3 Densidade de Partículas - $D_p$ .....	53
5.1.4 Porosidade total - PT.....	55
5.1.5 Retenção de água no solo.....	57
5.1.6 Salinidade do solo .....	65
5.2 Hidrodinâmica do solo.....	68
5.2.1 Porosidade drenável .....	68
5.2.2 Variabilidade espacial da Condutividade hidráulica.....	70
5.3 Mapas das propriedades físicas e de salinidade do solo e suas relações com a condutividade hidráulica.....	73
5.3.1 Granulometria .....	73
5.3.2 Densidade do solo .....	77
5.3.4 Porosidade total.....	79
5.3.5 Porcentagem de sódio trocável.....	81
5.4 Monitoramento do lençol freático.....	84
6. CONCLUSÕES .....	86
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de um poço de observação confeccionado em tubo de PVC.....	22
Figura 2. Localização da área experimental 1 na Fazenda Poço Redondo. ....	26
Figura 3. Localização da área experimental dois na fazenda sitio do meio. ....	27
Figura 4. Localização do município de Santa Luzia no estado da Paraíba. ....	28
Figura 5. Localização do município de São José dos Cordeiros no estado da Paraíba. ....	28
Figura 6. Trado holandês utilizado para perfuração dos poços e coleta das amostras de solo (a), saco plástico utilizado para o acondicionamento das amostras (b), destorroamento (c) e peneiramento das amostras de solo (d).....	30
Figura 7. Classes texturais do solo. ....	31
Figura 8. Geometria do método de inverso Auger-Hole (Porchet). ....	35
Figura 9. Material utilizado para realização do teste de condutividade hidráulica no campo..	37
Figura 10. Procedimentos para realização do teste de condutividade hidráulica do solo, perfuração do poço utilizando trado (a) e acompanhamento do rebaixamento do nível de água no poço (b).....	39
Figura 11. Poços de observação confeccionado em tubo de PVC visão geral (a), instalado no campo (b), localização dos poços nas áreas experimentais 1 (c) e 2 (d) .....	41
Figura 12. Pluviômetro utilizado na área experimental de São José dos Cordeiros.....	41
Figura 13. Histogramas para a porcentagem de areia nas profundidades investigadas na área experimental 1. ....	45
Figura 14. Histogramas para a porcentagem de silte nas profundidades investigadas na área experimental 1. ....	46
Figura 15. Histogramas para a porcentagem de argila nas profundidades investigadas na área experimental 1. ....	46
Figura 16. Histogramas para a porcentagem de areia nas profundidades investigadas na área experimental de 2.....	48
Figura 17. Histogramas para a porcentagem de silte nas profundidades investigadas na área experimental de 2.....	48
Figura 18. Histogramas para a porcentagem de argila nas profundidades investigadas na área experimental 2. ....	49
Figura 19. Histogramas para a densidade do solo nas profundidades investigadas na área experimental 1. ....	52



Figura 20. Histogramas para a densidade do solo nas profundidades investigadas na área experimental de 2.....	52
Figura 21. Histogramas para a densidade de partículas nas profundidades investigadas na área experimental 1. ....	54
Figura 22. Histogramas para a densidade de partículas nas profundidades investigadas na área experimental de 2.....	55
Figura 23. Histogramas para a porosidade total do solo nas profundidades investigadas na área experimental 1. ....	57
Figura 24. Histogramas para a porosidade total do solo nas profundidades investigadas na área experimental 2. ....	57
Figura 25. Histogramas para umidade natural do solo nas profundidades investigadas na área experimental 1. ....	59
Figura 26. Histogramas para capacidade de campo do solo nas profundidades investigadas na área experimental 1.....	60
Figura 27. Histogramas para ponto de murcha do solo nas profundidades investigadas na área experimental 1. ....	60
Figura 28. Histogramas para disponibilidade total de água do solo nas profundidades investigadas na área experimental 1. ....	61
Figura 29. Histogramas para umidade natural do solo nas profundidades investigadas na área experimental 2. ....	63
Figura 30. Histogramas para capacidade de campo do solo nas profundidades investigadas na área experimental de 2.....	63
Figura 31. Histogramas para ponto de murcha do solo nas profundidades investigadas na área experimental 2. ....	64
Figura 32. Histogramas para disponibilidade total de água do solo nas profundidades investigadas na área experimental 2. ....	64
Figura 33. Porcentagem de Salinidade e Classificação do solo, na área experimental 1. ....	66
Figura 34. Histogramas dos parâmetros de salinidade do solo das áreas de estudo.....	67
Figura 35. Histogramas para a porosidade drenável nas profundidades investigadas na área experimental 1. ....	69
Figura 36. Histogramas para a porosidade drenável nas profundidades investigadas na área experimental 2. ....	69
Figura 37. Histogramas para a condutividade hidráulica nas duas áreas de estudo.....	72

Figura 38. Mapa da condutividade hidráulica do solo e das propriedades granulométricas na área experimental 1.....	74
Figura 39. Correlação entre os atributos de granulometria do solo com a condutividade hidráulica para a área experimental 1.....	75
Figura 40. Mapa da condutividade hidráulica do solo e das propriedades granulométricas na área experimental 2.....	76
Figura 41. Correlação entre os atributos de granulometria do solo com a condutividade hidráulica para a área experimental 1.....	77
Figura 42. Mapa da condutividade hidráulica do solo e da densidade do solo nas áreas experimentais 1 e 2.....	78
Figura 43. Correlação entre a densidade do solo com a condutividade hidráulica para as áreas experimentais 1 (a) e 2 (b).....	79
Figura 44. Mapas da condutividade hidráulica e da porosidade total do solo nas áreas experimentais 1 e 2.....	80
Figura 45. Correlação entre a porosidade total do solo e a condutividade hidráulica para as áreas experimentais 1 e 2.....	81
Figura 46. Mapas da condutividade hidráulica do solo e da porcentagem de sódio trocável nas áreas experimentais 1 e 2.....	82
Figura 47. Correlação entre a porcentagem de sódio trocável do solo com a condutividade hidráulica para as áreas experimentais 1 e 2.....	83
Figura 48. Precipitação média mensal no ano de 2016 e valores médios mensais de climatologia para o município de Santa Luzia – PB. ....	85
Figura 49. Precipitação média mensal no ano de 2016 e valores médios mensais de climatologia para o município de São José dos Cordeiros – PB. ....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação de valores de condutividades hidráulica.....	19
Tabela 2. Número de pontos de observações por área. ....	22
Tabela 3: Medidas estatísticas associadas a variabilidade da granulometria do solo nas diferentes profundidades estudadas, para a área experimental 1.....	43
Tabela 4: Medidas estatísticas associadas a variabilidade da granulometria do solo nas diferentes profundidades estudadas, para a área experimental 2.....	46
Tabela 5: Medidas estatísticas associadas a variabilidade da densidade do solo nas diferentes profundidades estudadas.....	50
Tabela 6: Medidas estatísticas associadas a variabilidade da densidade de partículas nas diferentes profundidades estudadas. ....	53
Tabela 7: Medidas estatísticas associadas a variabilidade da Porosidade total do solo nas diferentes profundidades estudadas. ....	55
Tabela 8: Medidas estatísticas associadas a variabilidade dos parâmetros de retenção de água no solo nas diferentes profundidades estudadas, na área experimental 1.....	58
Tabela 9: Medidas estatísticas associadas a variabilidade dos parâmetros de retenção de água no solo nas diferentes profundidades estudadas, na área experimental 2.....	61
Tabela 10: Medidas estatísticas dos parâmetros de avaliação da salinidade do solo das áreas de estudo.....	65
Tabela 11: Medidas estatísticas associadas a variabilidade porosidade drenável nas diferentes profundidades estudadas, nas duas áreas experimentais. ....	68
Tabela 12. Medidas estatísticas associadas a condutividade hidráulica nas duas áreas de estudo. ....	71

## DINÂMICA DA DRENAGEM EM SOLOS DA CAATINGA EM USO COM PALMA FORRAGEIRA IRRIGADA E CULTURAS DE SUBSISTÊNCIA

**RESUMO:** A drenagem agrícola é uma prática que além de permitir a incorporação de áreas mal drenadas ao processo produtivo, evita que ocorram inundações, encharcamento e salinização de solos. O conhecimento da variabilidade dos atributos físicos e hidrodinâmicos do solo auxiliam na tomada de decisão e no uso adequado dos recursos hídricos e do solo. Objetivou-se com esta pesquisa identificar e avaliar os parâmetros físicos e hidrodinâmicos do solo em uma área sob o cultivo da palma forrageira, e outra destinada à agricultura familiar, bem como identificar a necessidade de drenagem dos solos. Para isto, foram realizados dois experimentos em condições de campo, sendo um na fazenda Poço Redondo, situada no município de Santa Luzia PB e outro na propriedade Sítio do Meio, no município de São José dos Cordeiros PB. Foram realizados testes de condutividade hidráulica utilizando o método de Auger Hole inverso (Porchet), análises laboratoriais dos parâmetros físicos e de salinidade do solo através de amostras deformadas, coletadas nas profundidades de 0-30; 30-60; 60-90 e 90-120 cm, além da instalação de uma rede de poços de observação permanente do nível freático nas áreas de estudo. As propriedades investigadas foram analisadas utilizando-se a estatística clássica, a qual está baseada no cálculo de médias, desvio padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo e coeficientes de assimetria e curtose. Juntamente com essa análise foram feitos os histogramas para verificar a natureza da distribuição e a variabilidade das variáveis levantadas, além da análise de correlação entre os atributos do solo e a condutividade hidráulica utilizando os coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) e de determinação ( $R^2$ ). A condutividade hidráulica do solo apresentou alta variabilidade nas áreas estudadas. A correlação entre as propriedades físicas do solo e a condutividade hidráulica foram fracas, sendo mais perceptível a redução da  $K_0$  com o aumento da porcentagem de sódio trocável do solo.

**Palavras-chave:** hidrodinâmica do solo, condutividade hidráulica saturada, manejo do solo

## **DYNAMICS OF DRAINAGE IN CAATINGA SOILS IN USE WITH IRRIGATED FORESTRY PALM AND SUBSISTENCE CULTURES**

**ABSTRACT:** Agricultural drainage is a practice that, in addition to allowing the incorporation of poorly drained areas into the production process, prevents flooding, flooding and salinization of soils. Knowledge of the variability of the physical and hydrodynamic attributes of the soil helps in decision making and the adequate use of water resources and soil. The objective of this research was to identify and evaluate the physical and hydrodynamic parameters of the soil in an area with forage palm, and another one for the family agriculture, as well as to identify the need for soil drainage. For this, two experiments were carried out under field conditions, one at the Poço Redondo farm, located in Santa Luzia town/ Paraíba State and another at the Sítio do Meio property, in São José dos Cordeiros town/ Paraíba State. Hydraulic conductivity tests were performed using the inverse Auger Hole method (Porchet), laboratory analysis of the physical parameters and soil salinity through deformed samples, collected at depths of 0-30; 30-60; 60-90 and 90-120 cm, in addition to the installation of a network of permanent observation wells in the water table in the study areas. The investigated properties were analyzed using the classical statistics, which is based on the calculation of averages, standard deviation, coefficient of variation, minimum and maximum values and coefficients of asymmetry and kurtosis. Along with this analysis the histograms were made to verify the nature of the distribution and the variability of the raised variables, besides the correlation analysis between the attributes of the soil and the hydraulic conductivity using the Pearson (r) correlation coefficients and of determination ( $R^2$ ). The hydraulic conductivity of the soil showed high variability in the studied areas. The correlation between the physical properties of the soil and the hydraulic conductivity were weak, being more noticeable the reduction of  $K_0$  with the increase of the exchangeable sodium percentage of the soil.

**Keywords:** Soil hydrodynamics, saturated hydraulic conductivity, soil management.

## 1. INTRODUÇÃO

O agronegócio no Brasil tem a agricultura irrigada como instrumento principal na manutenção do desenvolvimento de regiões onde os índices pluviométricos não são suficientes para conseguir altas produtividades das culturas, especialmente em regiões semiáridas como é o caso da região Nordeste. Aliada a irrigação, a drenagem agrícola tem um papel de fundamental importância para a conservação do solo e da água, evitando degradação das áreas principalmente pela salinização e degradação dos solos. Otimização do uso dos recursos naturais tem balizado todas as discussões em torno de projetos que priorize a preservação ambiental.

Diversas áreas no nordeste do Brasil encontram-se com problemas de salinização pelo manejo inadequado do sistema solo-água-planta. Segundo Amaral Júnior, et al. (2012), a salinização do solo pode causar vários efeitos negativos, dentre os quais se destacam: aumento da densidade aparente, redução da infiltração de água pelo excesso de íons sódicos e elevação do potencial osmótico, reduzindo, assim, a disponibilidade de água para as plantas.

O processo de salinização dos solos afeta as propriedades físico-químicas e biológicas destes, comprometendo o equilíbrio dos ecossistemas, reduzindo a disponibilidade dos recursos e causando a desestruturação econômica local, devido a um decréscimo na produtividade das culturas, sobretudo aquelas mais sensíveis (SOUZA, 2010). A manutenção da qualidade do solo, neste contexto, demonstra ser uma ferramenta importante, pois assegura a sustentabilidade da produção agrícola, trazendo benefícios aos diferentes agroecossistemas (SANTOS, 2012).

O estudo de parâmetros hidrodinâmicos do solo gera informações que contribuem para um manejo adequado da área. Segundo Souza (2014), a determinação das curvas de retenção da água no solo, porosidade, e condutividade hidráulica saturada do solo, avaliação do lençol freático são indispensáveis para o gerenciamento dos recursos hídricos de bacias hidrográficas e o manejo adequado da irrigação e drenagem em uma área quer seja em áreas úmidas ou de baixa pluviometria.

A condutividade hidráulica é uma propriedade física do solo imprescindível nos estudos relacionados ao transporte de água no solo e aos seus impactos potenciais ao meio ambiente (SANTOS, 2011). Para Bastos (2004), a condutividade hidráulica do solo é uma das principais variáveis utilizadas para estudos agrícolas e ambientais que envolvem o fluxo de água no solo, tais como, planejamento de sistemas de irrigação e drenagem, rebaixamento do lençol freático, movimento de água no solo, nutrição de plantas, controle da erosão e poluição da água. Essa variável representa a facilidade com que o solo transmite água, sendo este um importante

atributo físico para indicar a maior ou menor facilidade que os solos oferecem à passagem de água, e, conseqüentemente, dos sais ou outros elementos que estejam solúveis na água. É um atributo do solo que é influenciado pelas características do meio, incluindo porosidade, tamanho e distribuição das partículas, forma das partículas e seu arranjo.

Um adequado controle do lençol freático quer seja controlando a irrigação, ou mediante sistemas artificiais de drenagem traz como consequência uma série de benefícios para a terra agrícola. Os solos com alta umidade apresentam uma aeração deficiente, a água preenche os poros vazios em que antes havia oxigênio. Esta falta de aeração afeta gradativamente o rendimento das culturas ao reduzir a taxa de oxigênio. (MILLAR, 1988).

O estudo da dinâmica de água no solo no semiárido paraibano são inexistentes, sendo, portanto, um diferencial desta pesquisa gerar informações que possam otimizar o uso da irrigação através de um manejo adequado das áreas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Desenvolver estudos de campo que identifiquem a necessidade de drenagem do solo em uma área destinada a produção da palma forrageira irrigada, situada no município de Santa Luzia – PB, e em uma área destinada à agricultura familiar, situada no município de São José dos Cordeiros – PB.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Fazer a caracterização dos atributos físicos do solo em diferentes profundidades, nas duas áreas de estudo, através de uma análise de estatística descritiva;
- Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo nas áreas de estudo utilizando o método de Auger Hole inverso (Porchet);
- Determinação da porosidade drenável;
- Confeção e instalação de uma rede de poços de observação do lençol freático;
- Elaborar mapas de isolinhas das propriedades granulométricas (% de areia, silte e argila), densidade do solo ( $D_s$ ), Porosidade total (PT), porcentagem de sódio trocável (PST) e da condutividade hidráulica do solo ( $K_0$ );
- Analisar a existência de correlação das propriedades granulométricas (% de areia, silte e argila), densidade do solo ( $D_s$ ), porosidade total (PT), porcentagem de sódio trocável (PST) com a condutividade hidráulica do solo ( $K_0$ ), através do uso de diagramas de dispersão, coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) e de determinação ( $R^2$ );
- Monitorar o nível do lençol freático após eventos de precipitações.



### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola e ambiental**

Nos estudos que envolvem as relações agricultura e meio ambiente é crescente a necessidade de adoção de critérios que possam avaliar, de forma correta, as condições atuais bem como as ideais dos compartimentos do agroecossistema. (GOMES & FILIZOLA,2006). No sentido de estabelecer as referências que pudessem reproduzir, de forma satisfatória, os limites ou índices desejáveis ou aceitáveis de determinados parâmetros, particularmente no meio agrícola, foram criados os chamados índices de sustentabilidade (LAL, 1999).

Entre os principais indicadores físicos de qualidade de solo sob o ponto de vista agrícola, estão a textura, estrutura, resistência à penetração, profundidade de enraizamento, capacidade de água disponível, percolação ou transmissão da água e sistema de cultivo (GOMES & FILIZOLA,2006).

Desse modo, um dos importantes desafios da atualidade para muitos agricultores e pesquisadores é de como avaliar a sustentabilidade de um agroecossistema de base ecológica, em especial quanto à qualidade do solo. O conceito de qualidade do solo surgiu em civilizações muito antigas e compreende um subconjunto fundamental da qualidade ambiental (ARRUDA et al., 2012).

O solo é constituído de um emaranhado de material sólido e orgânico, cuja a estruturação proporciona a formação do espaço poroso ocupado por água e ar, as dimensões do espaço poroso dependem do grau de estruturação do solo e dos caminhos preferenciais criados pela atividade da fauna do solo, do sistema radicular das plantas e das argilas expansivas (CARVALHO & OLIVEIRA, 2012).

Os poros do solo podem ser classificados de acordo com o seu diâmetro e forma e podem ser divididos empiricamente em três grupos (LIBARDI, 2005): macroporos: poros com diâmetro maior que 100  $\mu\text{m}$ . Sua principal função é de aeração da matriz do solo e condução da água durante o processo de infiltração. mesoporos: poros com diâmetro entre 30 e 100  $\mu\text{m}$ . Sua principal função é a condução da água durante o processo de redistribuição. microporos: poros com diâmetro menor que 30  $\mu\text{m}$ . São também chamados poros capilares e atuam no armazenamento da água pelo solo. Nestes poros, a água também se move, no entanto, de uma forma muito lenta.

A distribuição do diâmetro dos poros condiciona o comportamento físico-hídrico do solo. O estudo da porosidade é, portanto, uma das maneiras de caracterizar e quantificar esse comportamento (KLEIN & LIBARDI, 2002).

A densidade do solo expressa a relação entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume do solo. No volume do solo é incluído o volume de sólidos e o de poros do solo. Entretanto, havendo modificação do espaço poroso haverá alteração da  $D_s$ . O uso principal da densidade do solo é como indicador da compactação, assim como medir alterações da estrutura e porosidade do solo. (REINERT & REICHERT, 2006).

A distribuição de partículas de variados tamanhos em um determinado solo determina sua textura. Cada solo recebe uma designação referente à sua textura, designação esta que nos dá uma ideia do tamanho de suas partículas constituintes mais frequentes. Tradicionalmente, as partículas do solo são divididas em três frações de tamanho, chamadas frações texturais: areia, silte e argila (REICHARDT & TIMM, 2004).

De acordo com Freitas (2005), a retenção e o movimento da água no solo são processos complexos que variam no tempo e no espaço. Geralmente para avaliar o estado hídrico do solo recorre-se à determinação do conteúdo de água ou do potencial hídrico do solo. Ainda de acordo com o autor, é importante entender as três constantes que envolvem os limites entre a disponibilidade e o déficit de água para as plantas, que são:

Ponto de murcha permanente (PMP) – representa o conteúdo de água abaixo do qual as raízes são incapazes de extrair água, ou seja, é o limite mínimo de água útil para as plantas e que corresponde à água retida contra uma pressão extrativa de 15 atm, correspondendo a um potencial mátrico de -1500 kPa.

Capacidade de campo (CC) – representa o conteúdo de água em que o solo se estabiliza após ter terminado a drenagem e corresponde à água retida a uma pressão extractiva de 0,1 atm, ou -10 kPa.

Ponto de saturação – equivale ao conteúdo acima do máximo de água que o solo pode conter.

O teor de água disponível no solo (AD) é o conteúdo de água no solo entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente e representa a capacidade de armazenamento útil do solo ou a máxima quantidade de água disponível para a extração pelas plantas numa determinada profundidade de solo (Z) solo explorado pelas raízes.

O conhecimento da variabilidade das propriedades do solo, no espaço e no tempo, é considerado o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua

escala. Um mesmo material de origem pode apresentar diferenças na composição física, mineralógica e estrutural, resultando em variações na matriz do solo e, como consequência, podendo condicionar a formação de locais com diferentes capacidades de retenção e de fluxo de água, que é o principal agente de processos no solo (SOUZA, 1992).

### **3.2 Drenagem Agrícola**

O conhecimento das relações água-solo-planta-atmosfera é de fundamental importância para otimizar o manejo dos recursos naturais, principalmente na região semiárida, onde o regime pluviométrico tem como característica a má distribuição no espaço e tempo, adotando técnicas de irrigação e drenagem adequadas. (PADRÓN et al., 2015).

A drenagem agrícola é uma prática que além de permitir a incorporação de áreas com problemas de drenagem natural ao processo produtivo, evita que ocorram inundações, encharcamento e principalmente a salinização de solos. A drenagem interna facilita a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, criando condições favoráveis para o aumento e a melhoria da produtividade/qualidade dos produtos (BATISTA et al., 2002).

O processo natural de drenagem é a remoção da água por gravidade da superfície do solo e da zona radicular dos cultivos. Em engenharia, drenagem é o controle que se exerce sobre a altura do lençol freático com objetivo de proporcionar umidade e uma ótima aeração para o desenvolvimento radicular das culturas (MILLAR, 1978).

O uso de drenagem artificial é indicado para controlar o nível do lençol freático, bem como possibilitar a lixiviação dos sais trazidos nas águas de irrigação, a fim de, criar condições de boa aeração e de controle da salinidade que favoreçam o crescimento e o desenvolvimento das culturas e que preservem as características físicas, químicas e biológicas do solo (BERNARDO, 2009).

Segundo Bernardo (1995), as principais fontes que contribuem para o excesso de água no solo são as precipitações e as infiltrações provenientes de canais de irrigação e represas. Em regiões de clima árido e semiárido, comumente a principal fonte causadora do excesso de água no solo é a irrigação, enquanto em regiões de clima úmido e subúmido é a precipitação.

A fim de se relacionar o excesso de água no solo com a movimentação do lençol freático, alguns métodos foram desenvolvidos com o objetivo de se avaliar a dinâmica da água no solo, e relacioná-la aos aspectos climáticos, aos parâmetros físico-hídricos do solo e, da cultura, e aos parâmetros geométricos do sistema de drenagem. Esses métodos são importantes ao dimensionamento e implantação de projetos eficientes de drenagem (SABBAGH et. al., 1993).

### **3.3 Parâmetros hidrodinâmicos do solo**

O conhecimento das características hidrodinâmicas do solo, tais como as curvas de retenção da água no solo, porosidade, e condutividade hidráulica saturada do solo, avaliação do lençol freático são indispensáveis para o gerenciamento dos recursos hídricos de bacias hidrográficas e o manejo adequado da irrigação e drenagem em uma área quer seja em áreas úmidas ou de baixa pluviometria (SOUZA et. al., 2014).

#### **3.3.1 Condutividade Hidráulica**

A dinâmica da água no solo está diretamente relacionada com o desenvolvimento e produtividade das culturas. Algumas características são imprescindíveis, mas rotineiramente não são determinadas pela pesquisa de solo, como a retenção de água e condutividade hidráulica do solo saturado (DALBIANCO, 2009).

Fernandes (2011) define a condutividade hidráulica do solo como sendo a capacidade de um solo em transmitir água através de seus vazios. Para Guerra (2000) a condutividade hidráulica é uma propriedade que depende da interação entre o solo e fluido, destacando alguns fatores que afetam na sua determinação como porosidade total, distribuição do tamanho dos poros do solo e a densidade e viscosidade do fluido.

A Condutividade Hidráulica do solo é essencial para qualquer estudo que envolva o movimento da água no solo, seja para estudar a própria dinâmica da água, seja para estudar o transporte de elementos químicos, nutrientes e defensivos agrícolas, bem como seus impactos potenciais ao ambiente (HURTADO et al., 2005). A condutividade hidráulica do solo está dividida em sete classes, segundo proposto por Millar (1988), conforme tabela 1.

Tabela 1. Classificação de valores de condutividades hidráulica

Classe	Condutividade hidráulica	
	cm.h <sup>-1</sup>	m.dia <sup>-1</sup>
Muito lenta	< 0,1	< 0,03
Lenta	0,1 – 0,5	0,03 – 0,12
Moderadamente lenta	0,5 – 2	0,12 – 0,50
Moderada	2 - 6	0,50 – 1,50
Moderadamente rápida	6 - 12	1,50 – 3,00
Rápida	12 - 18	3,00 – 5,00
Muito rápida	> 18	> 5,00

Fonte: Millar (1988).

A determinação de  $K_0$  pode ser feita através de métodos de laboratório e de campo. Os métodos de laboratório apresentam o inconveniente de usarem amostras de tamanho reduzido, e, portanto, representativas de pequeno volume de solo. Os métodos de campo, são mais precisos, tendo em vista o maior volume de solo considerado sem alteração da sua estrutura (LIMA et al., 2010). Em laboratório os métodos mais usuais, são: permeâmetro de carga constante e carga variável. No campo, destacam-se os métodos que usam o princípio do fluxo contínuo, como o furo de trado (poço), os de fluxo constante, sendo que o princípio do fluxo contínuo é mais utilizado; os mais aplicados são o do furo de trado (não aconselhado para solos arenosos) e o método de Porchet, também conhecido como método inverso, uma vez que mede a  $K_0$  na ausência do lençol freático (BARRETO et al., 2004).

Os métodos Auger-Hole ou inverso de Auger-Hole utilizados na determinação da condutividade hidráulica em campo, destacam-se pela sua simplicidade, rapidez, precisão e grande amostragem de solo natural. Em situações no campo em que o nível freático, após um rebaixamento acentuado, esteja bastante afastado da superfície do solo, nestes casos, o método de campo mais recomendado é o denominado Auger-hole inverso ou Porchet (CRUCIANI, 1940; PIZARRO, 1978).

### 3.3.2 Porosidade Drenável

Vários autores (PIZARRO, 1978; BELTRAN, 1986; MILLAR, 1988) consideram a porosidade drenável como um parâmetro constante e equivalente à macroporosidade do solo, definida como a fração da porosidade total através da qual a água move-se livremente, cujo valor equivale ao conteúdo de ar presente no solo na capacidade de campo, a porosidade

drenável representa a fração do volume de solo drenado durante o processo de rebaixamento do lençol freático.

A porosidade drenável é uma quantidade adimensional, normalmente expressa como uma porcentagem, cujo valor varia de menos 5% para material argiloso, até 35% para areias grossas e areias cascalhentas (RITZEMA, 1994).

A determinação da porosidade drenável em campos experimentais de drenagem ou em modelos reduzidos de laboratório pode ser feita através de medições simultâneas de descarga de drenos ( $q$ ) e cargas hidráulicas ( $h$ ), resultados obtidos em ensaios realizados em campo são mais representativos, por envolver um volume maior de solo nas determinações, o que contribui para a redução da variabilidade espacial dos dados (QUEIROZ, 1997).

Em condições de regime variável a porosidade drenável é utilizada, juntamente com a condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ), para cálculo do espaçamento entre linhas de dreno, assim como para o calculado do coeficiente de drenagem subterrânea (LIMA et al., 2010).

Farias (1999) e Júnior (2013) realizaram estudos de diagnóstico de necessidade de drenagem do solo em áreas sob cultivo irrigados avaliando entre outros parâmetros a porosidade drenável do solo, em ambos os estudos foi verificado uma ampla variabilidade deste parâmetro no solo, os quais podem foram atribuídos pela presença de diferentes classes de textura das áreas de estudo.

### **3.4 Profundidade do nível freático**

A primeira caracterização do problema de drenagem é feita mediante observações do nível freático (ou lençol freático) efetuadas através de poços de abastecimento existentes na região, poços de observação especialmente perfurados para esse fim, instalação de piezômetros e observação de canais, cursos d'água, lagos, etc. (CRUCIANI, 1987).

A observação da profundidade do lençol freático é feita por meio de um poço simples, feito com um trado. Após a abertura do poço, é necessário esperar a estabilização do nível da água em seu interior para que a leitura seja efetuada. Entretanto, quando for de interesse realizar observações durante um grande período de tempo, é necessário instalar um poço de observação, para tanto, o fundo do poço é preenchido com material poroso (brita ou cascalho) e, logo após, é instalado um tubo de PVC perfurado em todo o seu comprimento, conforme mostra a figura 1. (LIMA et al., 2010).

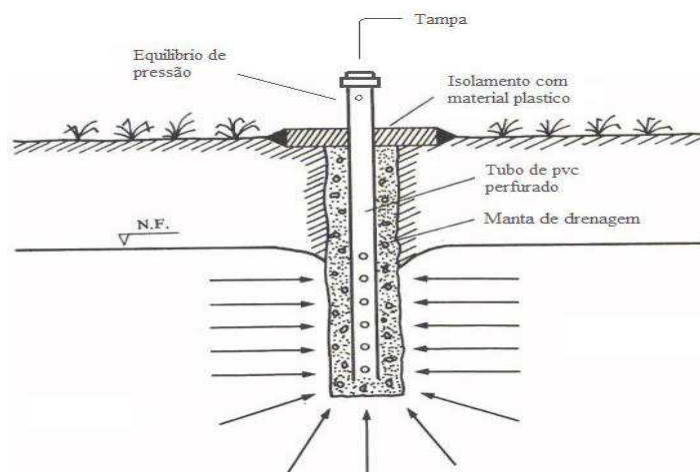


Figura 1. Esquema de um poço de observação confeccionado em tubo de PVC.

A distribuição dos pontos de observação para drenagem deve ter uma densidade tal, que permita um levantamento conveniente, com um máximo de informações a um custo reduzido e acesso fácil (RIDDER, 1974). A Tabela 1 apresenta a densidade dos pontos de observação em função da área.

Tabela 2. Número de pontos de observações por área.

Área (há)	Nº de Pontos de Observação
100	20
1.000	40
10.000	100
100.000	300

Fonte: RIDDER (1974).

O acompanhamento da variação da profundidade freática é fundamentalmente importante às regiões de climas úmidos e áridos. Em regiões de clima úmido, estes acompanhamentos são relevantes para diagnosticar problemas de arejamento na zona radicular enquanto nas regiões semiáridas e áridas (agricultura irrigada) a elevação freática causa problemas de arejamento no solo podendo, no caso de água freática salina, desencadear os problemas de salinização da área (COSTA 2008).

Farias (1999) avaliando a profundidade do lençol freático, no Perímetro Irrigado de São Gonçalo-PB, verificou-se que aproximadamente 80% da área avaliada, encontrava-se com o lençol freático próximo a superfície, indicando a necessidade de implantação de um sistema de drenagem na área.

Júnior (2013) realizou a instalação de poços de observação do nível freático em uma área destinada a produção de fruticultura irrigada com água poluída, com fins de monitoramento dos

níveis de salinidade do solo e da água do lençol, como forma de manejo adequado da irrigação com água com qualidade inferior.

### **3.5 Salinidade do solo e sua relação com a condutividade hidráulica**

Os solos com problemas de salinidade, também conhecidos por solos halomórficos ou solos salinos e sódicos, são solos desenvolvidos em condições imperfeitas de drenagem, que se caracterizam pela presença de sais solúveis, sódio trocável ou ambos, em horizontes ou camadas próximas à superfície (RIBEIRO, 2010).

Os problemas de salinidade do solo estão associados diretamente a qualidade da água de irrigação, os sais solúveis do solo são constituídos principalmente dos cátions  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  e dos ânions  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^-$ . O cátion  $\text{K}$  e os ânions  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^-$  e  $\text{NO}_3^-$  se encontram geralmente em quantidades menores (RICHARDS, 1954).

O efeito dos sais sobre a estrutura do solo ocorre, basicamente, pela interação eletroquímica existente entre os cátions e a argila. A característica principal deste efeito é a expansão da argila quando úmida e a contração quando seca, devido ao excesso de sódio trocável. Se a expansão for exagerada, poderá ocorrer a fragmentação das partículas, causando a dispersão da argila e modificando a estrutura do solo. De modo generalizado, os solos sódicos, ou seja, com excesso de sódio trocável, apresentam problemas de permeabilidade e qualquer excesso de água causará encharcamento na superfície do solo, impedindo a germinação das sementes e o crescimento das plantas, por falta de aeração (DIAS & BLANCO, 2010).

A contração das partículas de argila com a redução da umidade do solo pode ser caracterizada pela curva de encolhimento que relaciona o volume ocupado pelo solo com a umidade. Lima et al. (1990) observaram que solos sódicos se encolhem mais acentuadamente com a redução da umidade do que solos normais, apresentando densidade aparente maior, provavelmente como consequência da desestruturação do solo que elimina os poros.



Em estudo de alguns solos do estado de Pernambuco (FREIRE, 2001) determinou a condutividade hidráulica de nove solos de textura e natureza diversas, tratados com soluções de diferentes condutividades elétricas e relações de adsorção de sódio, em permeâmetros de carga constante. Os valores de condutividade hidráulica diminuíram à medida que se elevou os níveis de salinidade, para todos os tipos de solo avaliados, sendo os com maior característica argilosa os que apresentaram maiores reduções de condutividade hidráulica.

### **3.6 Estatística descritiva**

Para Silva et al. (2007), uma análise estatística descritiva detalhada permite ao pesquisador familiarizar-se com os dados, organizá-los e sintetizá-los de forma a obter as informações necessárias do conjunto de dados, para responder as questões que estão sendo investigadas. Uma descrição dos mesmos deve dar uma ideia global sobre o conjunto de dados, como eles estão se distribuindo, e se houver, quais as tendências.

As medidas de posição ou tendência central são aquelas que objetivam representar o conjunto de dados observados por um único valor. Sendo a média aritmética a mais conhecida, de fácil cálculo e compreensão, não tendenciosa, na ausência de valores discrepantes. Por outro lado, a mediana é o valor que divide o conjunto ordenado em duas partes iguais. Quando os valores das medidas média e mediana coincidirem, tem-se uma distribuição simétrica (SANTOS, 2011).

As medidas de dispersão visam fornecer o grau de variabilidade das observações, enquanto que uma medida de tendência central indica a posição de uma distribuição; uma medida de dispersão indica o formato dessa distribuição. Comumente são utilizados o desvio padrão, o coeficiente de variação como medidas de dispersão.

A assimetria é o grau de desvio ou afastamento na simetria de uma distribuição, já a curtose é uma medida do grau de achatamento da curva de uma distribuição, ou seja, se a distribuição tem picos relativamente altos ou tem topos achatados. Uma forma eficiente de representação destes comportamentos é através dos histogramas, sendo a distribuição de dados simétrica quando a metade esquerda de seu histograma é aproximadamente a imagem-espelho da metade direita (FERREIRA, 2008).

Os coeficientes de assimetria e curtose são utilizados para avaliar se os dados seguem uma distribuição normal. Para dados que seguem perfeitamente a curva de distribuição normal os valores do coeficiente de simetria e curtose, devem ser zero. Segundo Farias (1999), valores

de coeficiente de assimetria e curtose de 0 e 3, respectivamente, caracterizam dados com tendência de distribuição normal.

Para Gomes (2000), o coeficiente de variação dá uma ideia da precisão de um experimento. Ele classifica os coeficientes de variação comumente obtidos nos experimentos de campo como baixos, se inferiores a 10%; médios, quando estão entre 10 e 20%; altos, quando ficarem entre 20 e 30% e muito altos, se forem superiores a 30%.

Guimarães (2000) verificou que as frações granulométricas (areia, silte e argila) não apresentam diferenças estatísticas entre dois tipos de manejos, plantio direto e convencional, podendo, neste caso, considerar-se o valor médio destas propriedades com sendo representativo.

Em um estudo desenvolvido com o objetivo de estudar a variabilidade espacial de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos e manejos, Cavalcante et al. (2011) constataram um coeficiente de variação alto ( $> 24\%$ ) para a RP em todos os sistemas estudados (cerrado, plantio direto, pastagem e preparo convencional), e todas as camadas estudadas (0-15, 15-30, 30-45, 45-60 cm).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização e caracterização geral das áreas de estudo

O estudo foi conduzido em campo utilizando duas propriedades situadas em municípios distintos, e com condução de culturas e métodos de cultivos diferenciados.

Sendo a área experimental 1 situada na fazenda Poço Redondo, no município de Santa Luzia – PB, instalado às margens do riacho chafariz (Figura 2). As coordenadas geográficas do local são:  $06^{\circ} 51' 30,3''$  de latitude Sul e  $36^{\circ} 56' 9,7''$  de longitude Oeste.

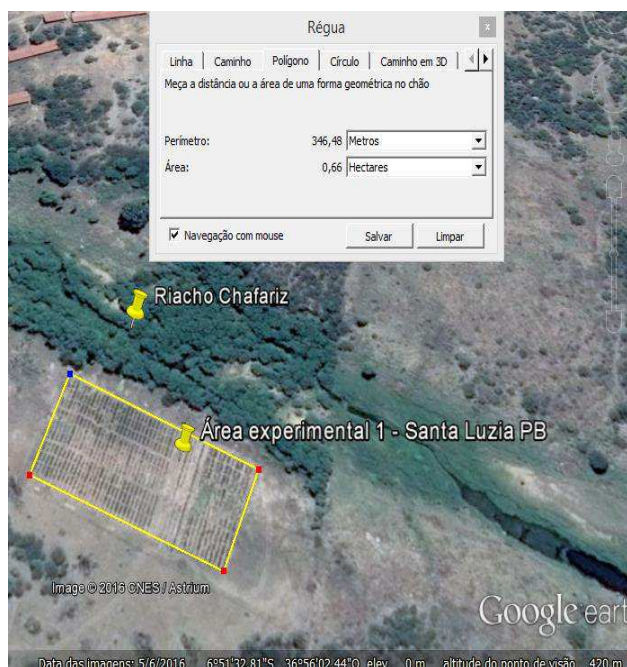


Figura 2. Localização da área experimental 1 na Fazenda Poço Redondo.

Fonte: Google Earth (2016).

As atividades de campo na área experimental um foram realizadas durante o mês de março de 2016, o local trata-se de uma área onde a dois anos atrás era apenas de mata fechada e ocupada por bovinocultura, onde atualmente é cultivada por palma forrageira irrigada, num total de 0,6 ha, o suprimento hídrico é assegurado por um poço artesiano instalado no leito do riacho Chafariz a uma distância de 80 metros da área nos momentos de escassez de chuvas onde os níveis de água do riacho não são suficientes para captação direta por meio de bombas hidráulicas.

A área experimental 2 está situada na fazenda Sítio do Meio, no município de São José dos Cordeiros – PB, instalado às margens do riacho do Bonfim (Figura 3). As coordenadas geográficas do local são: 07° 24' 19,74" de latitude Sul e 36° 47' 54,42" de longitude Oeste.



Figura 3. Localização da área experimental dois na fazenda sitio do meio.

Fonte: Google Earth (2016).

As atividades de campo na área experimental dois foram realizadas durante o mês de outubro de 2016, em uma área de aproximadamente 2,03 ha destinada à agricultura familiar onde são cultivadas as culturas do feijão e milho de sequeiro. A principal atividade da propriedade é a produção de frangos para abate. Não existe sistema de irrigação instalado na propriedade, porém, o suprimento hídrico para as demais atividades nos momentos de déficit pluviométrico é assegurado por dois poços artesianos e uma cisterna de placas.

#### 4.2 Aspectos fisiográficos das regiões de estudo

O município de Santa Luzia encontra-se inserido na microrregião do Seridó ocidental paraibano, sob as coordenadas de 06° 52' 27" latitude sul, 36° 56' 00" longitude oeste, e altitude de 299 m. Encontra-se inserido na bacia hidrográfica do rio Piranhas, na mesorregião da Borborema. Possui clima Bsh-Tropical quente e seco no semiárido nordestino, a precipitação média em torno de 500 mm com maior concentração nos meses de janeiro a maio, e com temperaturas que oscilam entre 25°C e 28°C. A topografia apresenta-se com relevo ondulado à



fortemente ondulado nas porções sudoeste, onde ocorre as serras do Pilãozinho e do Riacho do Fogo, e, ao sul, onde ocorrem as serras do Pinga e da Borborema com cotas elevadas chegando a 880metros. Na porção norte o relevo apresenta-se ondulado à suavemente ondulado com declividades não elevadas. (MASCARENHAS et al., 2005b) (Figura 4).

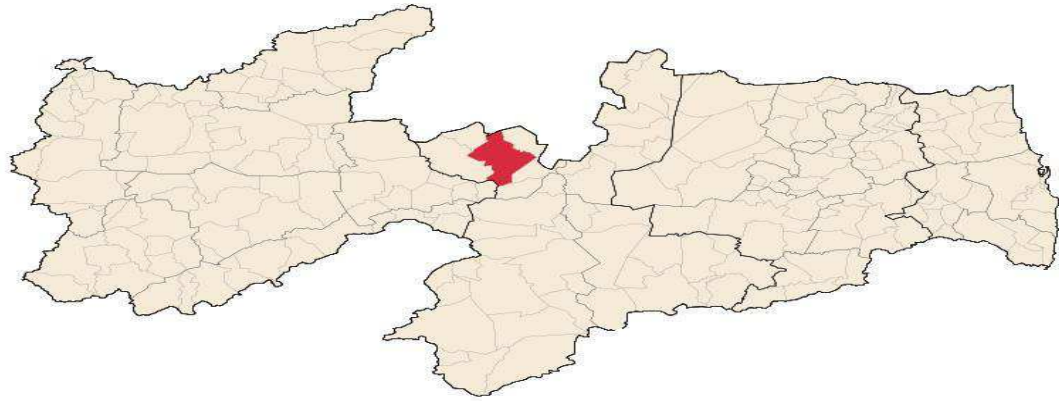


Figura 4. Localização do município de Santa Luzia no estado da Paraíba.

No município há a predominância de solos Luvisolos Crômico Órtico vértico, Luvisolo Hipocrômico Órtico típico, Neossolo Litólico Eutrófico e Afloramentos de Rocha. Os Luvisolos compreendem os solos minerais, não hidromórficos, que não sofreram influência da água na sua origem; possuem horizonte B textural ou horizonte B nítrico, com argila de atividade alta e saturação por bases alta, imediatamente abaixo do horizonte A fraco ou horizonte A moderado, ou horizonte E (MIRANDA 2007).

O município de São José dos Cordeiros PB, situa-se no polígono das secas; as coordenadas geográficas do local são: 7023'26'' latitude Sul e 36048'30'' de longitude Oeste (Figura 5).

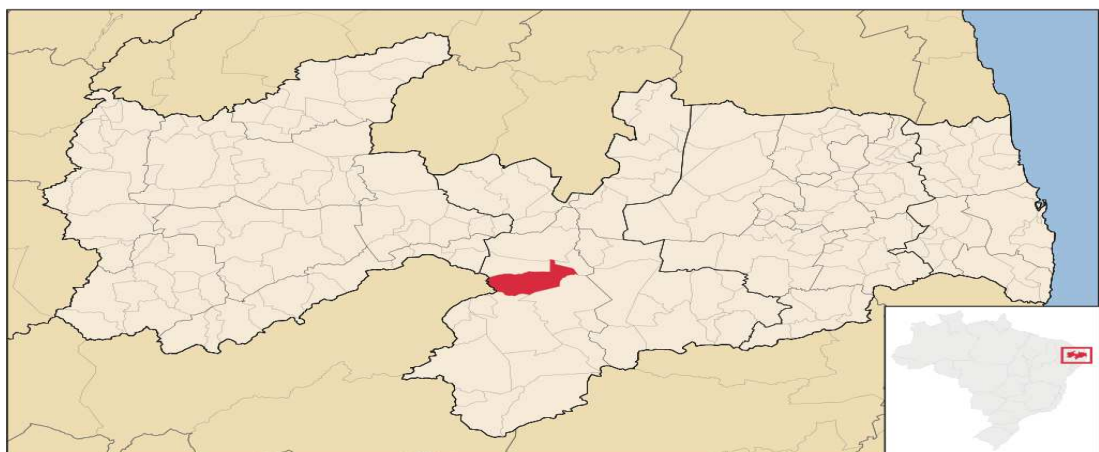


Figura 5. Localização do município de São José dos Cordeiros no estado da Paraíba.

O município de São José do Cordeiros situa-se no Polígono da Secas. Possui clima Bsh semiárido quente com chuvas de verão. A pluviometria média anual é de 554,5mm de distribuição irregular, com 78% concentrada em quatro meses. A vegetação é do tipo Caatinga-Sertão e a temperatura média anual situa-se próximo a 24°C. A topografia apresenta relevo ondulado à suavemente ondulado. As declividades mais elevadas onde predomina o relevo ondulado apresentam-se à noroeste onde ocorre a serra de São Gonçalo com cotas que chegam a 670 metros; na porção sudoeste onde ocorre a serra das Almas com cotas que chegam a 780 metros, sul, nas áreas onde ocorrem as serras do Viveiro, da Pelada e Serrote do Pico e, a oeste em áreas separando os altos cursos dos riachos São Gonçalo e do Bonfim onde ocorrem as serras do Salão e da Roca com cotas que chegam a 670 metros. A vegetação é do tipo Caatinga e a temperatura média situa-se entre torno de 24°C. (MASCARENHAS, 2005a).

No município há predominância de solos do tipo Neossolos e Luvisolos segundo a classificação proposta pelo sistema brasileiro de classificação de solos de 2006. Os Neossolos são constituídos por material mineral, não hidromórficos, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos. São solos pouco desenvolvidos que não apresentam horizonte B diagnóstico. Enquanto os Luvisolos compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação de bases elevada, imediatamente abaixo do horizonte A ou horizonte E. Apresentam diversos horizontes superficiais, exceto A chernozêmico e horizonte hístico (JACOMINE, 2009).

#### **4.3 Análise Física do solo**

Para caracterização física do solo foram coletadas amostras nas profundidades de 0 a 30; 30 a 60; 60 a 90 e 90 a 120 cm de profundidade, em 10 pontos distintos escolhidos aleatoriamente em cada área de estudo, totalizando 40 amostras de solo por área. As amostras foram coletadas com o auxílio de um trado do tipo holandês com 7,5 cm de diâmetro de perfuração (Figura 6.a), acondicionadas em sacos plásticos de 2 kg devidamente identificados (Figura 6.b) e encaminhados para o laboratório de irrigação e salinidade (LIS) pertencente ao departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, onde foram secas ao ar, destorroadas (Figura 6.c) e passadas na peneira de malha de 2 mm (Figura 6.d) e em seguida foram determinadas as seguintes propriedades físicas:

A.



B.



C.



D.



Figura 6. Trado holandês utilizado para perfuração dos poços e coleta das amostras de solo (a), saco plástico utilizado para o acondicionamento das amostras (b), destorroamento (c) e peneiramento das amostras de solo (d).

### 4.3.1 Granulometria

Foram determinadas as porcentagens de areia, silte e argila das amostras de solo nas diferentes profundidades através da metodologia do densímetro proposta pelo manual de métodos de análise de solos da Embrapa. O método baseia-se na sedimentação das partículas que compõem o solo, após a adição de um dispersante químico, fixa-se um tempo único para a determinação da densidade da suspensão que se admite ser a concentração total de argila. As frações grosseiras (areias fina e grossa) são separadas por tamisação pesada e o silte é obtido por diferença (EMBRAPA, 1997). De posse dos valores de porcentagem de areia, silte e argila, foi feita a classificação textural das amostras utilizando o triângulo de classificação textural (Figura 7.).

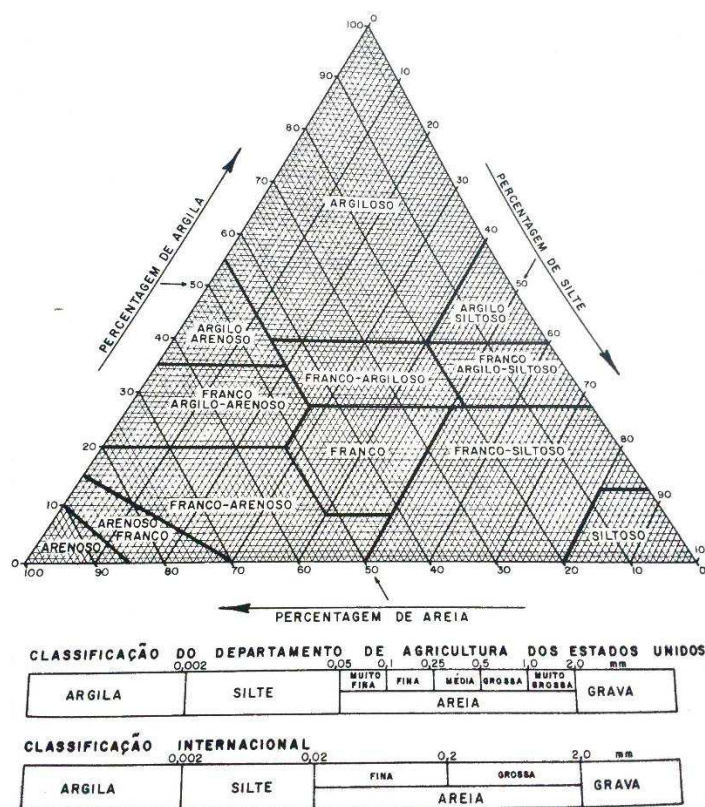


Figura 7. Classes texturais do solo.

Fonte: MILLAR, (1987)

### 4.3.2 Densidade do solo ( $D_s$ )

Para a determinação da densidade do solo ( $D_s$ ) utilizou-se o método da proveta, que consiste na determinação do peso de solo compactado necessário para completar o volume de uma proveta de 100 ml (EMBRAPA, 1997). O método consiste em:

- Pesquisar uma proveta de 100 ml, com aproximação de 0,5 a 1 g;



- Encher a proveta com solo, conforme descrito a seguir: colocar, de cada vez, aproximadamente 35 ml, contidos em bécher de 50ml, deixando cair de uma só vez e em seguida compactar o solo batendo a proveta 10 vezes sobre lençol de borracha de 5mm de espessura, com distância de queda de mais ou menos 10cm; repetir esta operação por mais duas vezes, até que o nível da amostra fique nivelado com o traço do aferimento da proveta;
- Pesquisar a proveta com a amostra e calcular a densidade aparente.

A densidade do solo é obtida pela seguinte expressão:

$$D_s \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{a}{b}$$

Em que:

$D_s$  – Densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>)

a – peso da amostra seca a 105° C (g)

b – volume da proveta (cm<sup>3</sup>)

#### 4.3.3 Densidade de partículas ( $D_p$ )

A densidade de partículas foi determinada através do método do balão volumétrico, que consiste na determinação do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo solo seco em estufa (EMBRAPA, 1997). O método é descrito a seguir:

- Pesquisar 20 g de solo, colocar em lata de alumínio de peso conhecido, levar à estufa, deixar por 6 a 12 horas, dessecar e pesar, a fim de se obter o peso da amostra seca a 105°C;
- Transferir a amostra para balão aferido de 50ml;
- Adicionar álcool etílico, agitando bem o balão para eliminar as bolhas de ar que se formam;
- Prosseguir com a operação, vagarosamente, até a ausência de bolhas e completar o volume do balão;
- Anotar o volume de álcool gasto.

A densidade de partículas é obtida através da seguinte expressão:

$$D_p = \frac{a}{50 - b}$$

Onde:

$D_p$  – Densidade de partículas (g cm<sup>-3</sup>)

a – peso da amostra seca a 105 °C

b – volume de álcool gasto para completar o volume do balão (cm<sup>3</sup>)

#### 4.3.4 Porosidade total (P<sub>t</sub>)

A porosidade total determina o volume de poros totais do solo ocupado por água e/ou ar, e foi obtida através da seguinte expressão (EMBRAPA,1997):

$$P_t = 100 \times \frac{a - b}{a}$$

Em que:

P<sub>t</sub> = Porosidade total (%)

a – densidade real do solo (g cm<sup>-3</sup>)

b – densidade aparente do solo (g cm<sup>-3</sup>)

#### 4.3.5 Água do solo

Foram determinadas as seguintes propriedades de retenção de água do solo:

##### *Umidade natural - U<sub>n</sub> (%)*

Consistiu na determinação do teor de umidade presente na amostra de solo, transportada em embalagem impermeáveis ao laboratório utilizando-se o método gravimétrico. O método procedeu da seguinte forma:

- Colocou-se a amostra, com estrutura deformada, em lata de alumínio numerada e de peso conhecido;
- Pesou-se e transferiu para estufa a 105-110°C, deixando nesta condição durante 24 horas;
- Retirou-se da estufa, em seguida foi colocada no dessecador, deixou-se esfriar e pesou a amostra seca.

Em seguida, a umidade natural foi conhecida através da seguinte expressão:

$$U_n = 100 \times \frac{a - b}{b}$$

Em que:

U<sub>n</sub> – Umidade natural do solo (%)

a – peso da amostra úmida (g)

b – peso da amostra seca (g)

### ***Umidade na capacidade de campo ( $U_{cc}$ ) e Umidade no ponto de murcha permanente ( $U_{pmp}$ )***

Para se determinar os valores correspondentes às umidades do solo nas condições de capacidade de campo e ponto de murcha permanente, utilizou-se o método do aparelho extrator de Richards o qual as mostras de solo saturadas são colocadas em placas de cerâmica ou membrana previamente saturadas e submetidas a uma determinada pressão (0,33 e 15 atm respectivamente para a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente), até atingir a drenagem máxima da água contida nos seus poros, correspondente à tensão aplicada.

Determina-se então a umidade da amostra. As expressões utilizadas para o cálculo das referidas umidades são mostradas a seguir (EMBRAPA, 1997):

$$U_{cc} = 100 \times \frac{a - b}{b}$$

Onde:

$U_{cc}$  – Umidade do solo na capacidade de campo (%)

a – peso da amostra após ser submetida a pressão de 0,33 atm (g)

b – peso da amostra seca a 105 °C (g)

$$U_{pmp} = 100 \times \frac{a - b}{b}$$

Onde:

$U_{pmp}$  – Umidade do solo no ponto de murcha permanente (%)

a – peso da amostra após ser submetida a pressão de 15 atm Mpa (g)

b – peso da amostra seca a 105 °C (g)

### ***Disponibilidade total de água no solo – DTA***

O conceito de disponibilidade de água ou capacidade de água disponível para as plantas, é usualmente definido como o teor de umidade compreendido entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. A disponibilidade total de água do solo pode ser obtido para as diferentes camadas, conhecendo-se os valores de densidade do solo das mesmas, através da equação a seguir (CARVALHO & OLIVEIRA, 2012):

$$ADP = \frac{U_{cc} - U_{pmp}}{10} \times D_s$$

Onde:

ADP – Disponibilidade total de água no solo ( $\text{mm.cm}^{-1}$ )

$U_{cc}$  – Umidade do solo na capacidade de campo (%)

$U_{pmp}$  – Umidade do solo no ponto de murcha permanente (%)

$D_s$  – Densidade do solo ( $\text{g.cm}^{-3}$ )

#### 4.4 Parâmetros hidrodinâmicos do solo

##### 4.4.1 Porosidade Drenável - $\mu$ (%)

A porosidade drenável ( $\mu$ ), também conhecida como porosidade efetiva ou macroporosidade, é considerada a fração da porosidade total através da qual a água move-se livremente, cujo valor equivale ao conteúdo de ar presente no solo na capacidade de campo. Para este estudo, os valores de porosidade drenável foram calculados para todas as profundidades estudadas, seguindo a equação proposta por Beltran (1986):

$$\mu = PT - UU_{cc}$$

Em que:

$\mu$  - Porosidade drenável (%);

PT – Porosidade total (%);

$U_{cc}$  – Umidade do solo na capacidade de campo.

##### 4.4.2 Determinação da Condutividade Hidráulica ( $K_0$ )

A condutividade hidráulica do solo é uma de suas propriedades hidrodinâmicas mais importantes para pesquisa e projeto de drenagem, podendo ser determinada abaixo do lençol freático ou acima dele. No presente trabalho foi utilizado o método inverso de Auger-Hole, também conhecido como o método de “Porchet”, indicado para áreas em que o lençol freático encontra-se em grandes profundidades ou ausente, que consiste em abrir um orifício no solo, de certa profundidade, enchê-lo de água e medir a velocidade de rebaixamento do nível (MILLAR, 1988) (Figura 8).

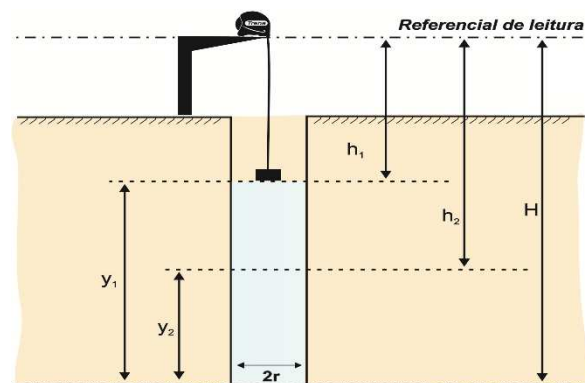


Figura 8. Geometria do método de inverso Auger-Hole (Porchet).

Os cálculos da condutividade hidráulica ( $K_0$ ) seguem a seguinte equação:

$$K_0 = 432 \times r \times \frac{\ln\left(h_0 + \frac{r}{2}\right) - \ln\left(h_f + \frac{r}{2}\right)}{t_f - t_0}$$

Onde:

$K_0$  = condutividade hidráulica ( $\text{m dia}^{-1}$ )

$h_0$  = carga hidráulica no instante “ $t_0$ ” (cm)

$h_f$  = carga hidráulica no instante “ $t_f$ ” (cm)

$r$  = raio de perfuração (cm)

$t_0$  = Tempo inicial (s)

$t_f$  = Tempo final (s)

$h_0$  = Leitura inicial - Profundidade do poço – Altura do plano de referência

$h_f$  = Leitura final - Profundidade do poço – Altura do plano de referência

Para realização dos testes de condutividade em campo foram utilizados os seguintes materiais: Ferramentas para a limpeza da área escolhida para realização do teste (Figura 9.a), conjunto de trado tipo holandês com diâmetro de perfuração de 7,5 cm e alcance de profundidade de 1,5 m para abertura dos poços (Figura 9.b), baldes para coleta e armazenamento de água utilizada nos testes (Figura 9.c), suporte para medir a variação de nível de água dentro do poço (Figura 9.d), trena de 2 m acoplada a um flutuador medição do nível de água no poço (Figura 9.e), GPS da marca Garmin modelo e-trex 10 para obtenção das coordenadas geográficas dos poços, cronômetro digital e prancheta com folha de dados (Figura 9.f).

A.

B.



C.



D.



E.



F.

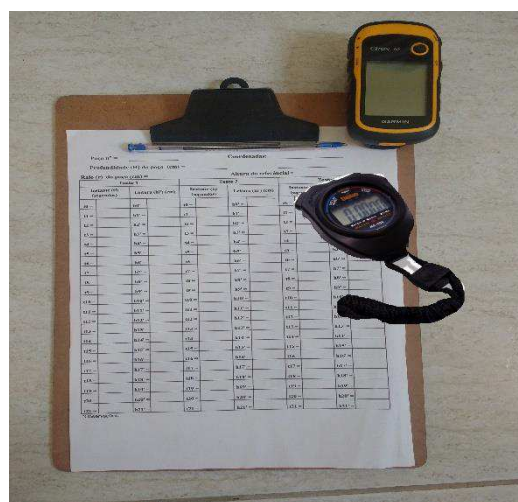


Figura 9. Material utilizado para realização do teste de condutividade hidráulica no campo.

Foram realizados testes de condutividade hidráulica em 10 poços distribuídos aleatoriamente nas duas áreas de estudo de forma que alcançasse os locais julgados como com

maiores possíveis problemas de drenagem e de forma a fazer o recobrimento de toda a área de estudo. Foram realizados 3 testes por cada poço perfurado para melhor representatividade e menor variação possível dos valores.

O procedimento para realização do teste de condutividade hidráulica é mostrado a seguir:

1. Após a escolha do local para a realização do teste, foi feita uma limpeza superficial para remoção de vegetação presente;
2. Utilizando o trado, foi aberto o poço no solo até alcançar a profundidade de 1,2 m, anotando a profundidade e o raio de perfuração do poço na folha de dados (Figura 12.a);
3. Após aberto o poço, o mesmo foi preenchido completamente com água e esperou-se que toda água sumisse do mesmo como forma de deixar o solo em estado de saturação antes da realização do teste, este passo foi repetido duas vezes;
4. Encheu-se o poço com água e foi medido imediatamente a profundidade inicial do poço ( $h_0$ ) no mesmo instante foi acionado o cronômetro ( $t_0 = 0$ ) para início do teste, registrando os dados ( $t_0$  e  $h_0$ ) na folha de dados;
5. Determinou-se as profundidades ( $h_i$ ) a que se encontrava o nível de água no poço (Figura 12.b), em intervalos de tempo pré-estabelecidos ( $t_i$ ) até o tempo em que era observado a estabilização das variações do nível de água no poço, registrando os dados ( $t_i$  e  $h_i$ ) na folha de dados;
6. O teste foi repetido 3 vezes para cada poço perfurado, e ao final de cada teste foi feito o preenchimento total da folha de dados colocando informações de identificação do poço, coordenadas e demais observações que fosse necessária.

A.

B.





Figura 10. Procedimentos para realização do teste de condutividade hidráulica do solo, perfuração do poço utilizando trado (a) e acompanhamento do rebaixamento do nível de água no poço (b).

#### 4.5 Confeção e instalação dos poços de observação

Com a finalidade de preservar os poços perfurados para realização dos testes de condutividade hidráulica contra o desmoronamento das paredes e objetivando fazer o monitoramento dos níveis do lençol freático das áreas de estudo, nos momentos de precipitações efetivas (recargas), bem como avaliar as linhas de fluxo e detectar a existência de áreas mais propícias ao encharcamento e ascensão do lençol à níveis críticos que venham causar danos às plantas cultivadas, foram confeccionadas estruturas fixas denominadas poços de observação permanentes.

Para este trabalho, foram confeccionados e instalados 10 poços de observação em cada área de estudo, conforme as seguintes etapas:

1. Os poços de observação foram instalados nas mesmas perfurações feitas com o trado para a realização dos testes de condutividade hidráulica;
2. O material utilizado foi tubo de PVC com 50 mm de diâmetro e 1,5 m de comprimento, sendo feita uma malha de furos de 5 mm de diâmetro nos 60 cm finais de cada tubo, com o auxílio de uma furadeira, para facilitar a entrada da água no poço e em seguida os tubos foram envoltos em uma tela com malha de 3 mm amarrados com arame galvanizado para impedir que o solo obstruísse o fluxo da água pelas aberturas feitas (Figura 11.a).



3. O espaçamento entre a parede do poço e o tubo de PVC, foi preenchido com areia grossa e o próprio solo do local, fazendo-se uma compactação manual, com a finalidade de aumentar a estabilidade do poço e evitar infiltração da água da irrigação e da chuva;
4. Os poços de observação foram instalados de uma forma que ficasse sobre o solo 30 cm iniciais ficaram acima do nível do solo, como forma de melhor visualização dos mesmos na área, e em seguida foram etiquetados e colocado um tampão com uma perfuração lateral, para evitar a entrada de material quando for realizar a coleta de dados e permitir a circulação de ar (Figura 11.b);
5. Além da identificação utilizando etiquetas, os poços de observação foram representados em forma de mapa com o auxílio da ferramenta “Google Earth”, utilizando os dados de coordenadas geográficas coletadas no momento do teste de condutividade hidráulica (Figuras 11.c e d).

A



C.

B



D.



Figura 11. Poços de observação confeccionado em tubo de PVC visão geral (a), instalado no campo (b), localização dos poços nas áreas experimentais 1 (c) e 2 (d)

#### 4.6 Avaliação do lençol freático

Os poços de monitoramento do nível de lençol freático foram instalados nos meses de março e outubro de 2016, respectivamente nas áreas experimentais 1 e 2. O acompanhamento da profundidade do nível freático foi realizado de após eventuais precipitações, tomadas a partir de seis horas após eventos. Utilizando dados de precipitação fornecidos pela AESA para o município de Santa Luzia – PB, já para a área de São José dos Cordeiros, os dados de precipitação foram obtidos através de um pluviômetro confeccionado em aço galvanizado nas dimensões de 25 cm de diâmetro por 40 cm de comprimento de altura, instalado em uma estaca a 1,5 m do solo, conforme recomendações de Silva (2006), conforme a Figura 12.

A.



B.



Figura 12. Pluviômetro utilizado na área experimental de São José dos Cordeiros.

Para realizar leitura de nível freático utiliza-se de "plop" fixado a uma trena, fita métrica ou equivalente. Ao baixar o "plop" no poço, cuja ponta passa a corresponder ao zero da trena, este ao tocar a água produz um som característico, daí a denominação. O "plop" é nada mais que um peso suficiente para manter a trena esticada, cuja característica principal é a de produzir o referido som que indica o nível da superfície da água, esse dispositivo já utilizado anteriormente nos testes de condutividade hidráulica.

#### 4.7 Análise estatística dos dados

As propriedades físicas investigadas em campo foram analisadas utilizando-se a estatística clássica (TRIOLA, 1999), a qual está baseada no cálculo de média, mediana, valores máximos e mínimos, desvios padrão, coeficientes de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose; utilizando planilhas eletrônicas no programa Excel 2010.

- Média ( $\bar{X}$ )

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- Desvio padrão ( $s$ )

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

- Coeficiente de variação ( $CV$ )

$$CV = \frac{s}{\bar{X}} \times 100$$

Em que:

$\bar{X}$  é a média de um conjunto de valores amostrais;

$x_i$  é o valor da  $i$ -ésima observação;

$n$  representa o número de valores de uma amostra

Para a construção dos mapas das propriedades físicas (% de areia, % de silte, % de argila,  $D_s$ ,  $P_t$ ), de salinidade (PST) e hidrodinâmica ( $K_0$ ) do solo, utilizou-se o programa SURFER versão 9 aplicando-se o método da krigagem.

A análise da existência de correlação entre as propriedades físicas e de salinidade do solo com a condutividade hidráulica foi realizada através da construção de diagramas de dispersão, análise dos coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) e de determinação ( $R^2$ ), utilizando planilha eletrônica no Excel.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola e ambiental**

#### **5.1.1 Granulometria**

Na tabela 3 são apresentadas as medidas estatísticas associadas aos parâmetros de granulometria do solo nas profundidades investigadas, para a área experimental 1, situada no município de Santa Luzia - PB.

Tabela 3: Medidas estatísticas associadas a variabilidade da granulometria do solo nas diferentes profundidades estudadas, para a área experimental 1.

Medidas estatísticas	Areia %	Silte %	Argila %
----------------------	---------	---------	----------

Profundidade (cm)	0-30	30-60	60-90	90-120	0-30	30-60	60-90	90-120	0-30	30-60	60-90	90-120
Média	74,18	75,10	73,93	73,61	18,50	16,89	17,75	25,78	7,32	8,01	8,31	11,96
Mediana	77,58	77,37	75,39	76,41	15,67	15,19	16,18	15,67	6,74	8,24	8,43	7,92
DP	8,83	7,61	7,41	6,99	6,70	5,58	5,51	4,91	3,78	2,99	2,38	2,48
CV	11,91	10,13	10,02	9,49	36,22	33,05	31,02	19,05	51,64	37,31	28,59	20,70
Máx	84,79	84,77	83,78	82,39	31,81	27,71	26,71	25,78	13,93	12,92	11,93	11,96
Mín	58,24	62,39	61,36	62,26	13,67	9,67	11,67	12,69	1,54	3,91	4,55	4,92
Assim	-0,74	-0,84	-0,58	-0,85	1,56	1,17	0,80	1,02	0,40	0,31	-0,10	-0,16
Curt	-0,68	-0,35	-0,75	-0,32	0,96	0,80	-0,65	-0,40	-0,35	-0,92	-0,96	-1,38

DP – desvio padrão (%); CV – coeficiente de variação (%); Máx – valor máximo (%); Mín – valor mínimo (%); Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose.

De forma geral, a partir dos resultados apresentados na tabela 3, observou-se que o solo estudado nas diferentes profundidades apresentou maiores valores médios de porcentagem de areia em relação ao silte e argila, que variou de 73,61 a 75,10 % e menores valores de argila 7,32 a 11,96%.

Segundo Gomes (2000), para a porcentagem de areia, a variabilidade, medida pelo coeficiente de variação CV, é considerada baixa para a profundidade de 90 a 120 cm (CV = 9,49 %) e médio para as profundidades de 0 a 30 (CV = 11,91 %); 30 a 60 (CV = 10,13%) e 60 a 90 cm (CV = 10,02 %). No entanto, para os parâmetros porcentagem de silte e argila foi verificado uma ampla variabilidade. Para os valores de silte nas profundidades de 0 a 30, 30 a 60 e 60 a 90 cm, os coeficientes de variação foram classificados como muito altos (CV = 36,22; 33,05 e 31,02 % respectivamente) e na profundidade de 90 a 120 cm é considerado alto (CV = 19,05 %). Para os teores de argila, observou-se variabilidade muito alta para as camadas de 0 a 30 e 30 a 60 cm de profundidade (CV= 51,64 e 37,31 % respectivamente) e alta para as profundidades de 60 a 90 e 90 a 120 cm (CV= 28,59 e 20,70 % respectivamente).

Os valores de coeficiente de variação encontrados para as frações de areia corroboram com os encontrados por Ferreira (2008) que encontrou baixos valores de coeficiente de variação para as frações de areia, de um Latossolo vermelho distrófico, sob os sistemas de plantio direto e convencional (CV = 6,2 e 3,03 % respectivamente). Eguchi et al. (2002) também encontraram comportamento semelhante para esta variável em um solo aluvial no município de Lavras – MG.

De acordo com a análise granulométrica, observou-se que o solo apresentou variação de classificação de textura apenas entre as classes Franco Arenoso e Areia Franca, nas diferentes profundidades, com o predomínio da classe Franco arenoso (67 % das amostras).

A não aderência dos dados a uma distribuição normal, conforme sugerem as medidas estatísticas média, mediana, curtose e assimetria (Tabela3), pode ser visualizado através de histogramas. As figuras 13, 14 e 15 revelam que somente para as frações de silte nas profundidades de 0 a 30, 30 a 60 e 90 a 120 cm para a área experimental 1 apresentaram uma distribuição diferente da normal. As demais frações nas difrentes profundidades apresentaram tendência a normalidade.

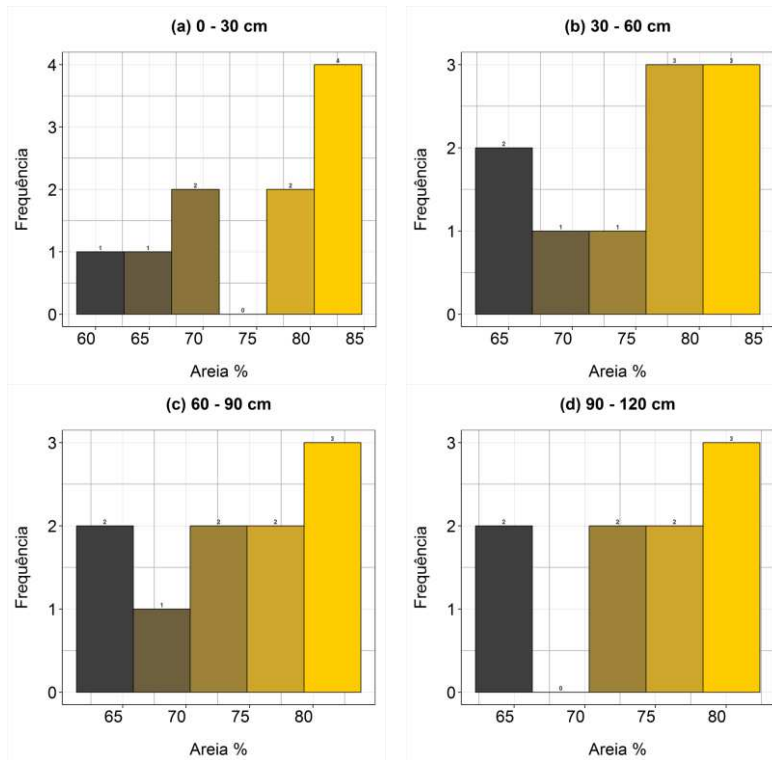
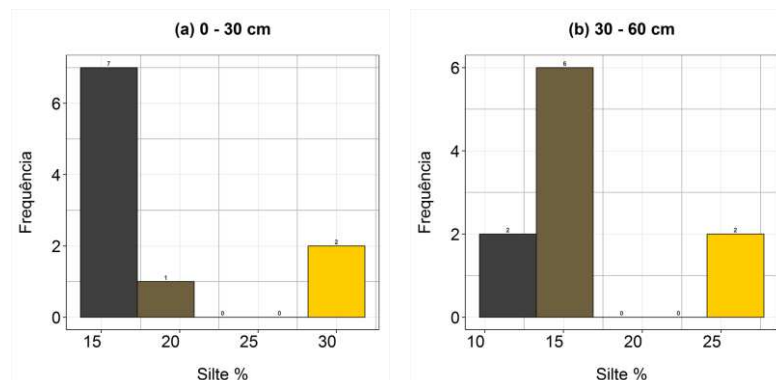


Figura 13. Histogramas para a porcentagem de areia nas profundidades investigadas na área experimental 1.



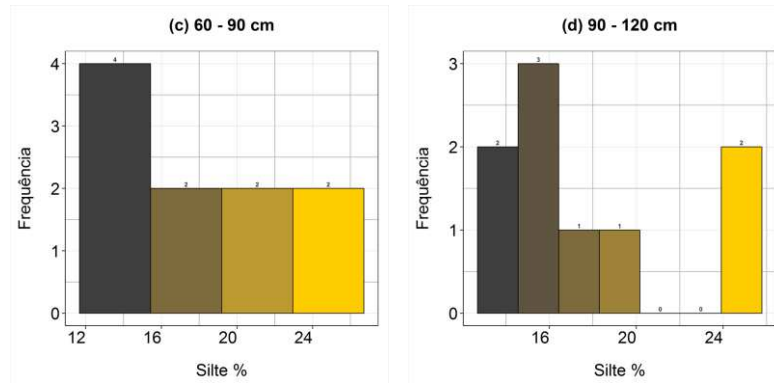


Figura 14. Histogramas para a porcentagem de silte nas profundidades investigadas na área experimental 1.

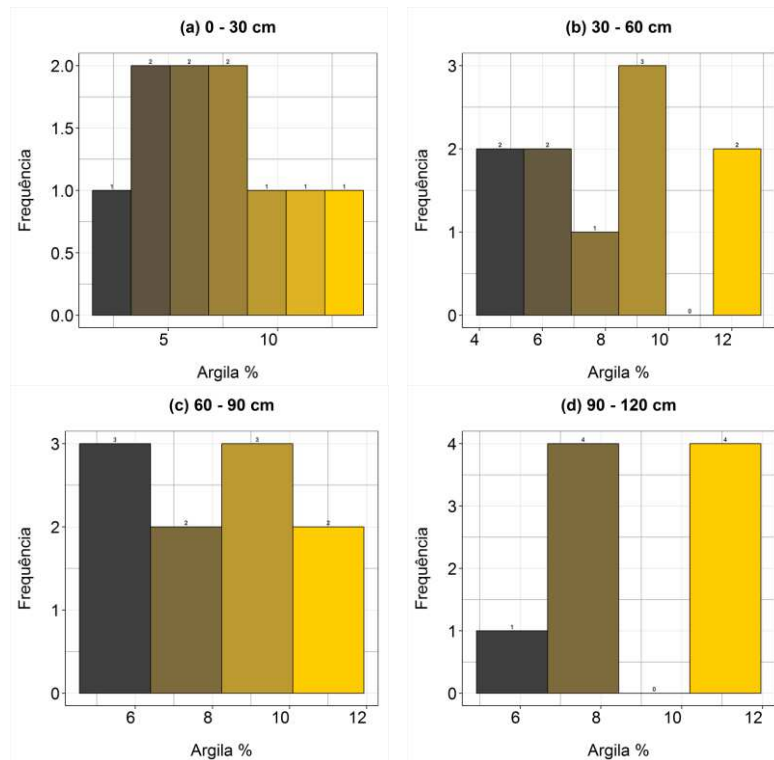


Figura 15. Histogramas para a porcentagem de argila nas profundidades investigadas na área experimental 1.

As análises granulométricas do solo nas profundidades investigadas assim como os parâmetros estatísticos associados às suas variabilidades, para a área experimental 2, situada no município de São José dos Cordeiros – PB, são mostrados na tabela 4

Tabela 4: Medidas estatísticas associadas a variabilidade da granulometria do solo nas diferentes profundidades estudadas, para a área experimental 2.



Medidas estatísticas	Areia %				Silte %				Argila %			
	0-30	30-60	60-90	90-120	0-30	30-60	60-90	90-120	0-30	30-60	60-90	90-120
Profundidade (cm)												
Média	85,90	82,58	78,03	74,23	11,08	13,31	14,66	16,66	2,52	4,11	7,32	9,12
Mediana	85,53	86,22	72,85	77,52	10,16	11,66	16,52	14,03	1,62	2,63	8,96	8,64
DP	5,92	12,66	9,19	13,87	4,03	8,87	5,36	9,20	2,74	4,08	4,07	5,49
CV	6,89	15,33	11,78	18,69	36,36	66,61	36,59	55,24	108,87	99,36	55,57	60,18
Máx	94,09	94,09	96,09	94,09	17,04	36,04	20,04	31,04	9,64	12,64	11,64	18,93
Mín	73,32	51,32	69,32	55,34	5,01	5,01	3,29	5,29	0,62	0,62	0,62	0,62
Assim	-0,80	-1,87	1,07	0,01	0,18	2,14	-1,16	0,56	2,28	1,13	-0,85	-0,09
Curt	1,26	4,10	-0,15	-1,18	-1,19	5,37	0,77	-0,76	5,82	0,58	-0,79	0,36

DP – desvio padrão (%); CV – coeficiente de variação (%); Máx – valor máximo (%); Mín – valor mínimo (%); Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose.

Através dos dados apresentados na tabela 4 é possível observar que os teores de areia se sobressaíram aos de silte e argila para todas as profundidades analisadas, sendo as maiores médias encontradas para as profundidades de 0 a 30 cm para a areia (85,90 %), e 90 a 120 cm para o silte (16,66 %) e a argila (9,12 %).

No que se refere à variabilidade dos dados apresentados, os melhores coeficientes de variação foram encontrados para os teores de areia, sendo a camada de 0 a 30 cm classificada como de baixa variabilidade (CV = 6,89 %) e as camadas demais camadas classificadas como de média variabilidade (CV = 15,33; 11,78 e 18,69 % respectivamente para as camadas de 30 a 60, 60 a 90 e 90 a 120 cm), segundo a classificação proposta por Gomes (2000). O maior valor de coeficiente de variação foi encontrado para a fração de argila na camada de 0 a 30 cm (CV = 108,87 %), valor este justificado pela discrepância entre os valores máximos (9,64 %) e mínimos (0,62 %) encontrados nas amostras desta camada, bem como pelo alto valor de desvio padrão (DP = 2,74 %) em relação à média (2,52 %).

De acordo com a análise granulométrica, observou-se que o solo apresentou variação de classificação de textura entre as classes Franco Arenoso, Areia Franca e Areia, nas diferentes profundidades, com o predomínio da classe Areia Franca (45 % das amostras) seguida da Franco arenoso (35 % das amostras).

Os coeficientes de assimetria e curtose mostrados na tabela 4, juntamente com os histogramas das figuras 16, 17 e 18, mostram que para os teores de areia e nas camadas de 30 a 60 e de 60 a 90 cm, bem como para a argila nas camadas de 0 a 30 e de 30 a 60 cm, os dados seguem uma distribuição diferente da normal. Nas demais profundidades os dados seguem uma tendência a normalidade.



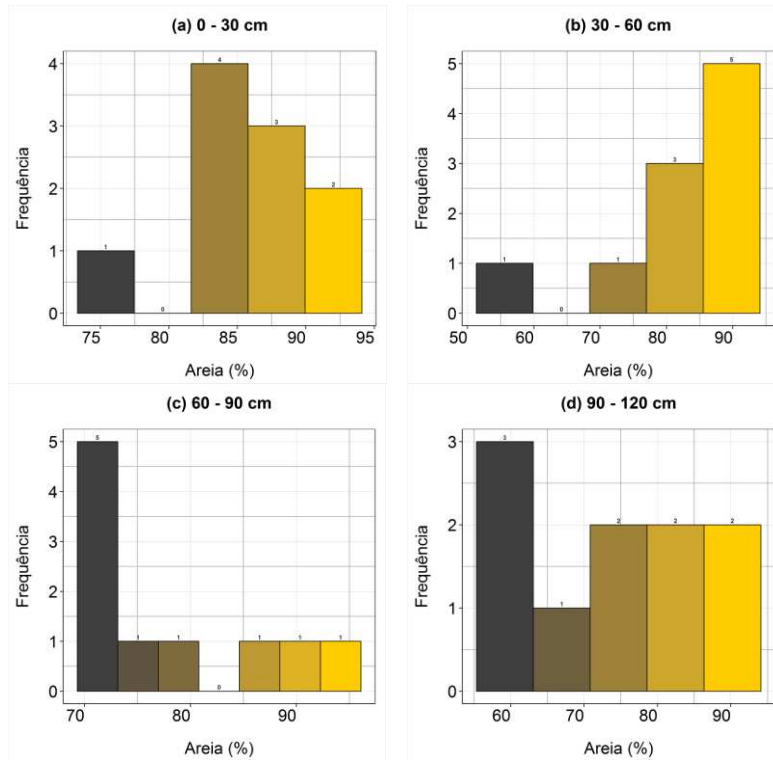


Figura 16. Histogramas para a porcentagem de areia nas profundidades investigadas na área experimental de 2.

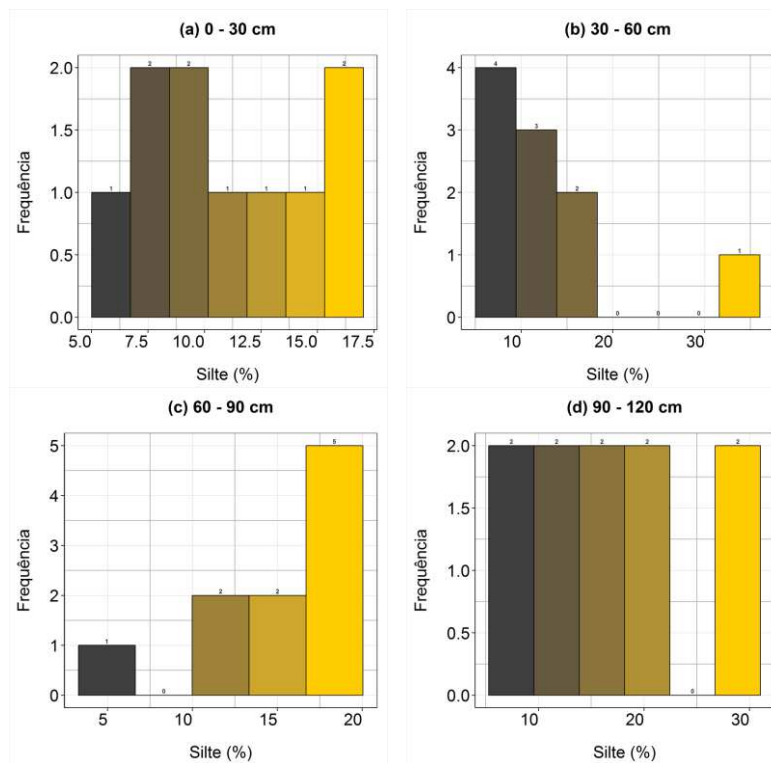


Figura 17. Histogramas para a porcentagem de silte nas profundidades investigadas na área experimental de 2.

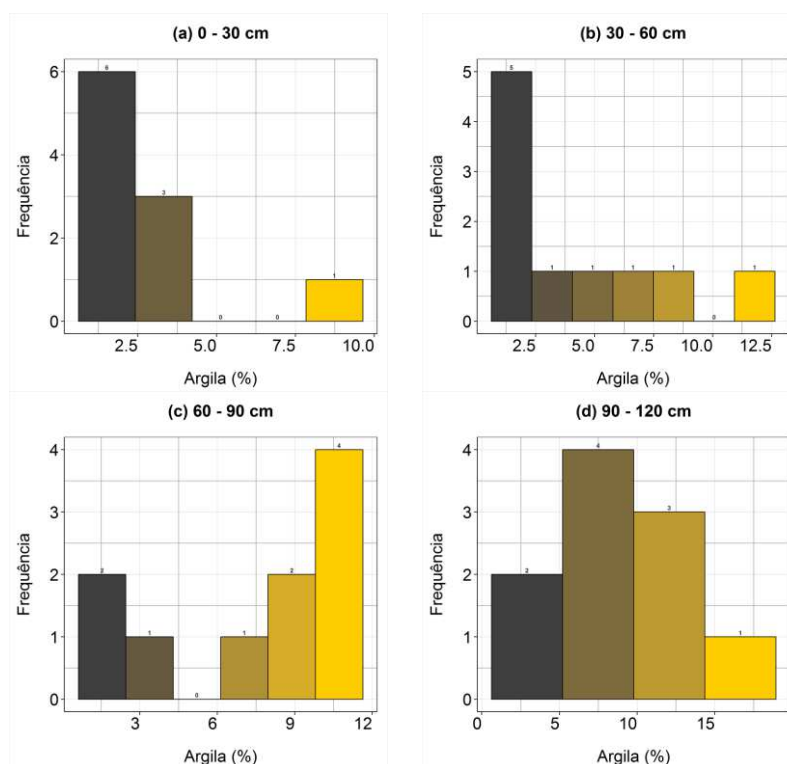


Figura 18. Histogramas para a porcentagem de argila nas profundidades investigadas na área experimental 2.

Os elevados valores de coeficiente de variação encontrados para os teores de argila e silte também foi constatado por Guimarães (2000), o qual afirma que valores relativamente altos na determinação do silte, podem estar associados à própria metodologia de determinação das frações granulométricas que compõe o solo e à possível formação de pseudopartículas, devido a uma dispersão ineficiente da solução de solo utilizada para a análise granulométrica do solo. Santos (2011) afirma ainda que a alta variabilidade para o silte pode estar relacionada com sua maior mobilidade no solo.

A área experimental 1 atualmente vem sendo utilizada sob o plantio de palma forrageira irrigada, anteriormente, a mesma era destinada apenas como pastagem natural e composta por vegetação diversificada, estes fatos, associados às características de relevo da área em estudo, podem comprovar que a maior variabilidade encontrada para os parâmetros texturais na camada inicial de 0 a 30 cm podem estar associadas ao uso do solo, influenciando nos momentos de precipitações intensas que resultam em maior velocidade de arraste da água e sedimentação de partículas. Corroborando com os resultados encontrados por Eguchi et al (2002).

Contrariando este fato, Guimarães (2000) afirma que as frações granulométricas são pouco dependentes do uso e manejo a que o solo é submetido, e que este atributo é fixo e a variação é proveniente da própria formação natural do solo.

No que se refere à normalidade da distribuição das frações que compõem a textura do solo, Salviano et al. (1998) obtiveram para as frações granulométricas valores de assimetria e curtose mais próximos aos de uma distribuição normal. Vieira (1997) encontrou distribuição normal para as propriedades argila e silte,

Segundo os dados sobre as principais classes de solos encontrados na região nordeste (MARQUES, et al., 2014), o Neossolo, encontrado nas duas áreas de estudo, apresenta textura arenosa a média e pequena diferenciação entre horizontes no perfil, fato comprovado nesta pesquisa através da baixa variabilidade dos valores de areia, silte e argila quando comparado entre as diferentes profundidades.

### 5.1.2 Densidade do solo - $D_s$

Na tabela 5 são apresentados os valores das medidas estatísticas sobre o parâmetro densidade do solo ( $D_s$ ), para as diferentes profundidades analisadas, nas duas áreas experimentais. Observa-se que as medidas de tendência central (média e mediana) são semelhantes. Isto é um indicativo de que os valores se encontram distribuídos simetricamente em torno da média e da mediana, e que estas medidas podem ser consideradas como valores típicos do conjunto de observações; ou seja, os resultados observados podem ser sumarizados por uma dessas medidas.

Tabela 5: Medidas estatísticas associadas a variabilidade da densidade do solo nas diferentes profundidades estudadas.

Densidade do solo - $D_s$ (g.cm <sup>-3</sup> )								
Medidas estatísticas	Área experimental 1				Área experimental 2			
	Profundidade (cm)							
	0-30	30-60	60-90	90-120	0-30	30-60	60-90	90-120
Média	1,42	1,37	1,38	1,38	1,47	1,40	1,39	1,36
Mediana	1,41	1,36	1,37	1,36	1,48	1,37	1,39	1,38
DP	0,10	0,07	0,04	0,07	0,10	0,09	0,06	0,06
CV	6,9	5,3	3,0	5,3	6,8	6,33	4,19	4,08

Máx	1,60	1,49	1,47	1,49	1,61	1,54	1,47	1,41
Mín	1,29	1,29	1,34	1,27	1,30	1,29	1,27	1,27
Assim	0,36	0,42	1,19	0,40	-0,21	0,76	-0,54	-1,24
Curt	-0,73	-1,30	0,90	-0,97	-0,77	-1,07	1,18	0,32

DP – desvio padrão (g.cm<sup>-3</sup>); CV – coeficiente de variação (g.cm<sup>-3</sup>); Máx – valor máximo (g.cm<sup>-3</sup>); Mín – valor mínimo (%); Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose.

Conforme mostrado pela tabela 5, as médias de densidade do solo para as diferentes profundidades nas duas áreas estudadas apresentam valores próximos, sendo a camada de 0 a 30 cm a que apresenta os maiores valores nas duas áreas. Este pequeno aumento da densidade na camada inicial em relação às demais pode ser explicado pelo uso do solo com a atividade agrícola dos locais, devido ao não uso de máquinas para o revolvimento do solo nas duas áreas, esta camada apresenta-se mais compactada. Fato este comprovado pelos valores máximos observados de densidade do solo para as duas áreas na camada de 0 a 30 cm (1,60 g cm<sup>-3</sup> e 1,61 g cm<sup>-3</sup> para as áreas experimentais 1 e 2 respectivamente).

Para Santos et al. (2011) a compactação do solo diminui o volume de poros ocupados pela água ou pelo ar, limita a infiltração e a redistribuição de água no solo, reduzir as trocas gasosas e a disponibilidade de oxigênio, limitando o crescimento radicular, o crescimento da parte aérea e a produtividade das culturas.

Segundo a classificação proposta por Gomes (2000), a variabilidade da densidade do solo para as duas áreas em todas as profundidades, medida pelo coeficiente de variação, é considerada baixa (CV < 10%).

Estes resultados corroboram com os encontrados por Souza et al. (2001), onde encontraram baixos valores de CV para a densidade do solo, assim como Mesquita et al. (2003) relatam coeficientes de variação de 7% para a densidade do solo.

Nas figuras 19 e 20 são apresentados os histogramas associados aos dados coletados para a densidade do solo nas respectivas profundidades estudadas das áreas experimentais 1 e 2. Associados às medidas de dispersão, próximas de 0 e 3 para os coeficientes de assimetria e de curtose (Tabela 5), respectivamente, mostram tendência de distribuição normal para os dados segundo Farias (1999).

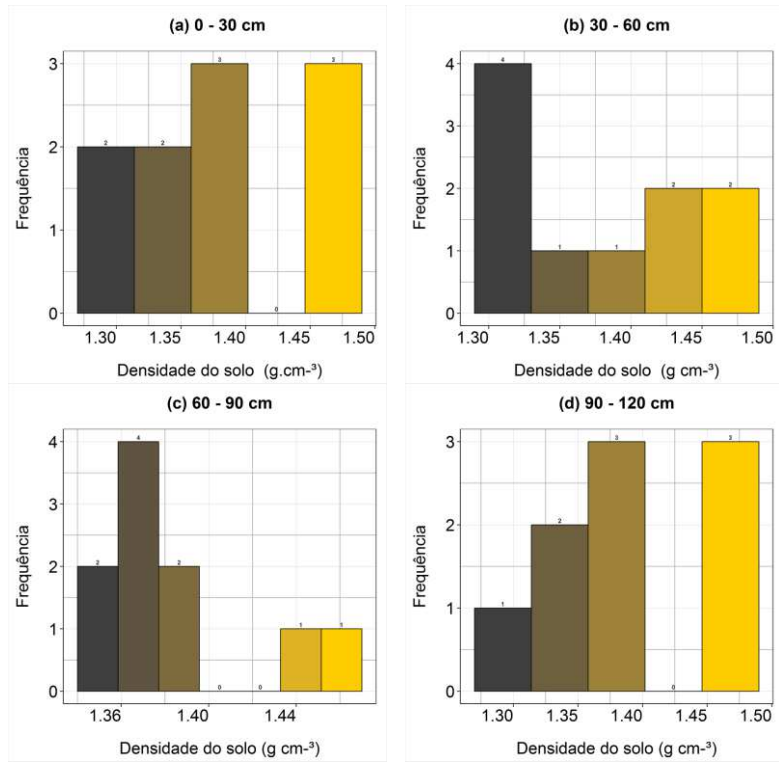


Figura 19. Histogramas para a densidade do solo nas profundidades investigadas na área experimental 1.

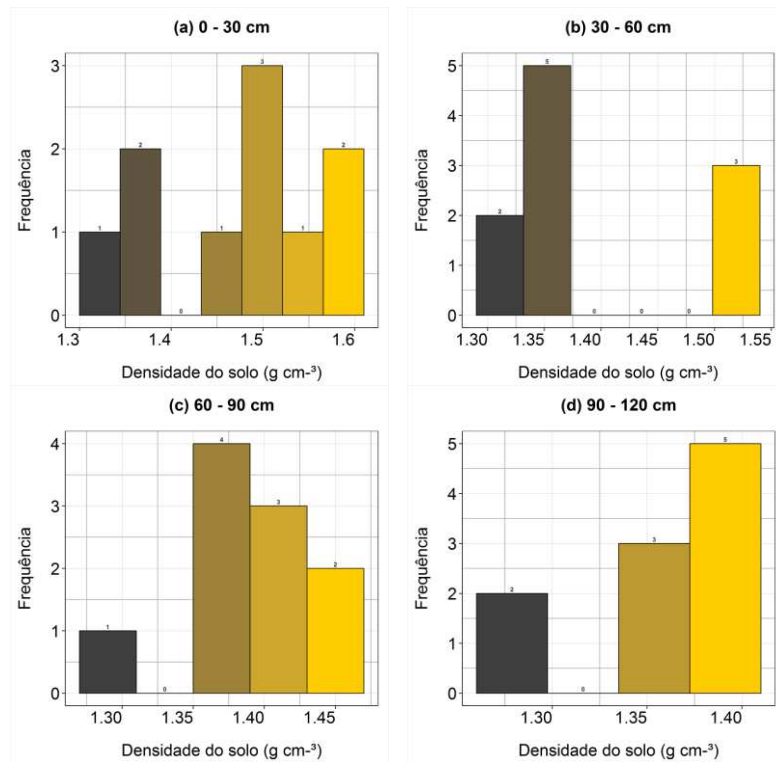


Figura 20. Histogramas para a densidade do solo nas profundidades investigadas na área experimental de 2.

Grego & Vieira (2005), Souza et al. (2001), Scherpinski (2003), Carvalho et al. (2003) e Guimarães (2000) encontraram em sistema uma distribuição também normal para a densidade do solo., e um baixo CV associado a esta propriedade do solo. Afirmam também que a variabilidade dessa propriedade é altamente influenciada pelo manejo agrícola, pelo tipo de solo e também pela profundidade de amostragem.

### 5.1.3 Densidade de Partículas - $D_p$

Os resultados de medidas estatísticas para o parâmetro densidade de partículas ( $D_p$ ) do solo para as duas áreas, nas diferentes profundidades estudadas, são mostrados na tabela 6.

Tabela 6: Medidas estatísticas associadas a variabilidade da densidade de partículas nas diferentes profundidades estudadas.

Medidas estatísticas	Densidade de partículas – $D_p$ ( $g.cm^{-3}$ )							
	Área experimental 1				Área experimental 2			
	Profundidade (cm)							
	0 - 30	30 -60	60 - 90	90 - 120	0 - 30	30 -60	60 - 90	90 - 120
Média	2,69	2,67	2,68	2,68	2,70	2,72	2,71	2,71
Mediana	2,69	2,67	2,69	2,68	2,69	2,73	2,71	2,69
DP	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
CV	1,1	1,0	0,9	0,9	0,7	0,79	0,71	0,80
Máx	2,72	2,72	2,72	2,72	2,73	2,75	2,73	2,73
Mín	2,64	2,63	2,64	2,63	2,68	2,69	2,69	2,68
Assim	-0,32	0,35	1,19	-0,49	0,49	-0,66	0,12	0,41
Curt	-0,80	-0,75	0,90	2,93	-1,83	-1,03	-2,35	-2,18

DP – desvio padrão ( $g.cm^{-3}$ ); CV – coeficiente de variação (%); Máx – valor máximo ( $g.cm^{-3}$ ); Mín – valor mínimo ( $g.cm^{-3}$ ); Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose.

A partir dos dados mostrados na tabela 6 observa-se que as medidas de tendência central, média e mediana, apresentam valores muito próximos para todas as profundidades analisadas nas duas áreas experimentais. Associado a este fato, as medidas de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação) apresentaram valores muito baixos, comprovando a baixa variabilidade deste parâmetro no solo. Segundo Gomes (2000), os coeficientes de variação encontrados são classificados como de baixa variabilidade.

Ferreira (2008), avaliando a variabilidade da densidade de partículas do solo sob condições de plantio direto, convencional e floresta, encontrou baixa variabilidade para este parâmetro, fato confirmado pelos baixos valores de coeficiente de variação (0,91; 0,40 e 2,55 % respectivamente para as condições de plantio direto, convencional e floresta) assim como

pelos baixos valores de desvio padrão encontrados (0,02; 0,01 e 0,06 g cm<sup>-3</sup>). Resultados semelhantes também encontrados por Júnior (2013).

Os coeficientes de assimetria e de curtose (tabela 6) mostram a tendência distribuição normal para a densidade de partículas em todos os casos analisados, fato confirmado pela análise dos histogramas de distribuição das figuras 21 e 22.

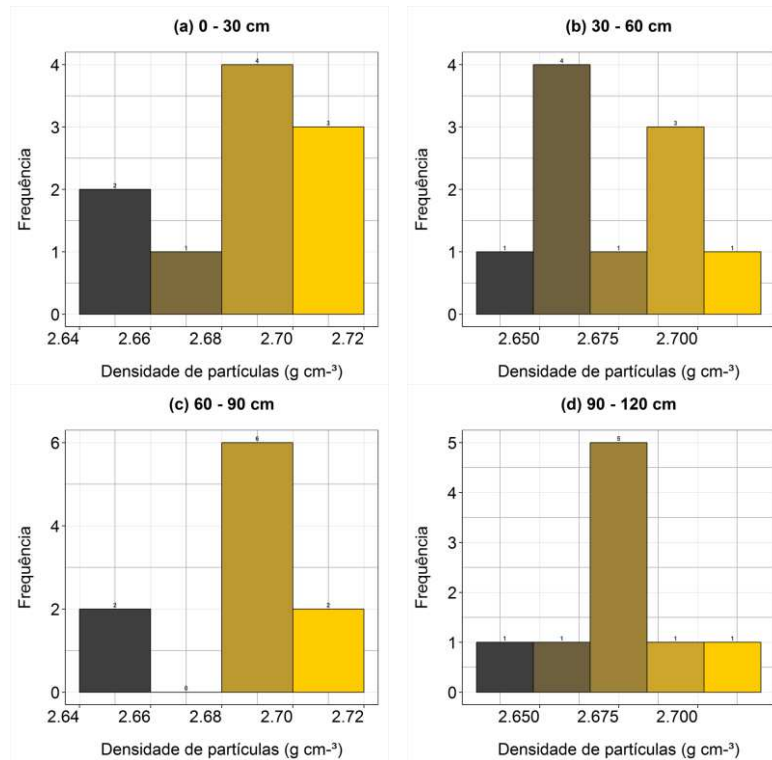
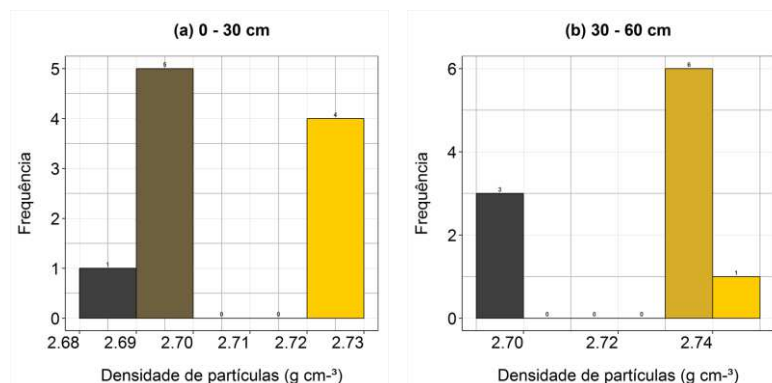


Figura 21. Histogramas para a densidade de partículas nas profundidades investigadas na área experimental 1.



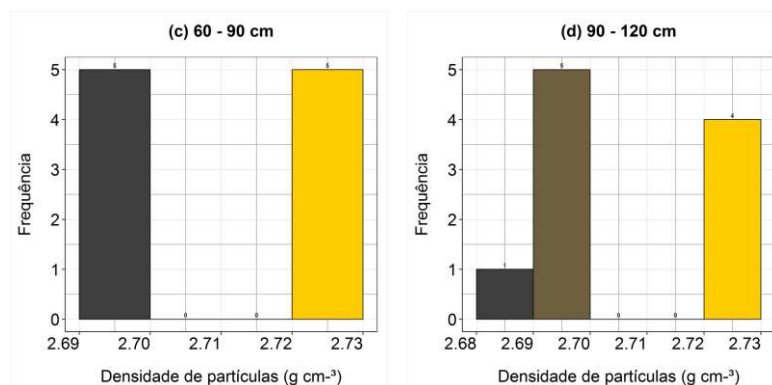


Figura 22. Histogramas para a densidade de partículas nas profundidades investigadas na área experimental de 2.

Segundo Reichardt (1996) e Guerra (2000), a densidade de partículas do solo está relacionada com a composição mineral do solo, esta, apresenta-se com proporções que variam pouco entre os diferentes tipos de solo, sendo assim um parâmetro com baixa variabilidade.

#### 5.1.4 Porosidade total - PT

A partir dos resultados obtidos com a aplicação das medidas estatísticas para a porosidade total do solo das duas áreas experimentais (Tabela 7) constata-se que houve uma baixa variabilidade desta nas diferentes profundidades estudadas, o que pode ser evidenciado pelos valores de desvio padrão e coeficiente de variação apresentado por este.

Tabela 7: Medidas estatísticas associadas a variabilidade da Porosidade total do solo nas diferentes profundidades estudadas.

Medidas estatísticas	Porosidade total (%)							
	Área experimental 1				Área experimental 2			
	Profundidade (cm)							
	0-30	30-60	60-90	90-120	0-30	30-60	60-90	90-120
Média	47,01	48,71	48,42	48,64	45,79	48,53	48,66	48,66
Mediana	47,20	48,68	48,98	49,25	45,60	49,63	48,61	48,61
DP	3,59	3,04	1,94	2,57	3,85	3,30	2,29	2,29
CV	7,6	6,2	4,0	5,3	8,4	6,80	4,71	4,71
Máx	51,47	52,57	50,19	52,61	52,21	52,75	53,48	53,48
Mín	40,30	43,77	44,32	45,22	40,15	42,75	45,35	45,35
Assim	-0,50	-0,18	-1,44	-0,22	0,15	-0,76	0,70	1,27
Curt	-0,40	-1,35	1,26	-1,15	-0,73	-0,71	1,25	0,53

DP – desvio padrão (%); CV – coeficiente de variação (%); Máx – valor máximo (%); Mín – valor mínimo (%); Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose.

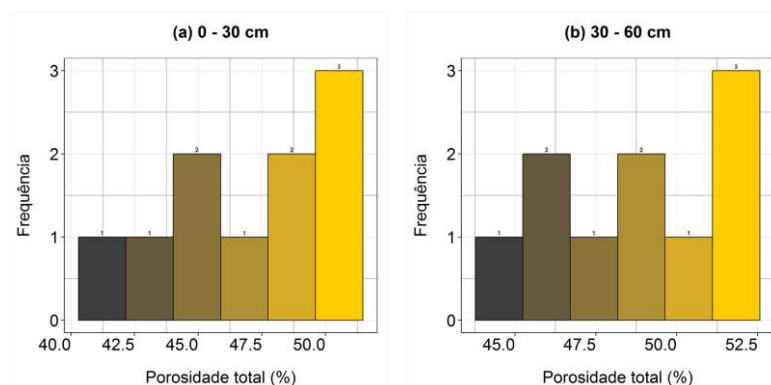


Segundo Gomes (2000) a porosidade total em todos os casos estudados está classificada como de baixa variabilidade. Fato confirmado também pela proximidade que existe entre os valores de medida de tendência central, média e mediana, bem como pelos baixos valores encontrados para o desvio padrão das amostras.

Resultados semelhantes foram encontrados por Júnior (2013), realizando uma caracterização física do solo de uma área sob cultivo da bananeira irrigada com água superficial poluída com o objetivo de diagnosticar a necessidade de drenagem da área, encontrou baixa variabilidade para o parâmetro porosidade total, evidenciado pelo valor de desvio padrão igual a 0,06 % e um coeficiente de variação de 2,22 %.

Com relação aos valores médios encontrados para a porosidade total, observa-se que para a área experimental 1 o menor valor médio foi encontrado na profundidade de 0 a 30 cm, resultado esperado devido a essa mesma camada ter apresentado o maior valor médio de densidade do solo, tendo em vista que a porosidade está relacionada diretamente com a densidade do solo pois quanto maior o grau de compactação do solo, que pode ser estimado pelo seu valor de densidade do solo, menor será o espaço poroso do solo. O mesmo fato foi observado por Júnior (2013) e Ferreira (2008).

De acordo com os valores dos coeficientes de assimetria e curtose (Tabela 7) e os histogramas construídos para este parâmetro nas diferentes profundidades (Figuras 23 e 24), observa-se que apenas os dados de porosidade total nas camadas de 60 a 90 cm e 90 a 120 cm para as áreas experimentais 1 e 2, respectivamente, não apresentaram tendência a uma distribuição normal.



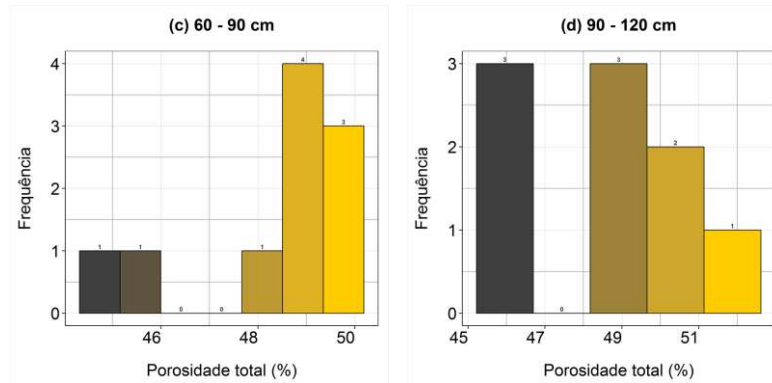


Figura 23. Histogramas para a porosidade total do solo nas profundidades investigadas na área experimental 1.

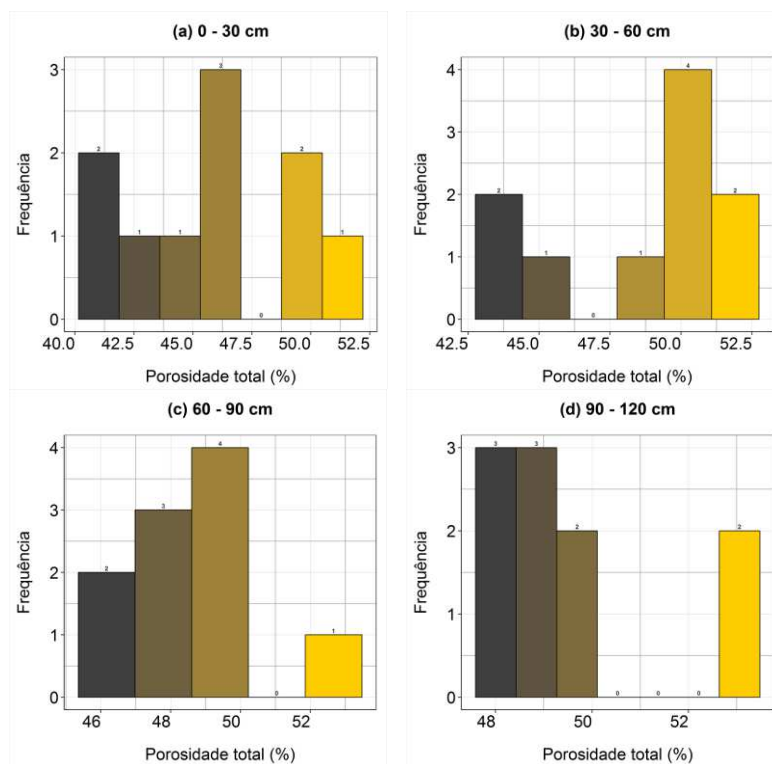


Figura 24. Histogramas para a porosidade total do solo nas profundidades investigadas na área experimental 2.

Souza et al. (2001) e Guimarães (2000) também encontraram a mesma tendência a normalidade para a porosidade total do solo, verificado no presente estudo para a maior parte dos dados, realizando estudos deste parâmetro para diferentes formas de manejo do solo.

### 5.1.5 Retenção de água no solo

Na tabela 8 são apresentados os valores das medidas estatísticas sobre os parâmetros umidade natural ( $U_n$ ), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e disponibilidade total de água (DTA) no solo, para as diferentes profundidades analisadas, na

área experimental 1. Observa-se de uma forma geral que os parâmetros de umidade de água do solo apresentaram ampla variação nas profundidades estudadas, fato evidenciado pelos altos valores obtidos para o coeficiente de variação, bem como pela presença de discrepantes evidenciados pelo intervalo de diferença entre valores máximos e mínimos amostrados.

Tabela 8: Medidas estatísticas associadas a variabilidade dos parâmetros de retenção de água no solo nas diferentes profundidades estudadas, na área experimental 1.

Medidas estatísticas	Un				CC			
	0-30	30-60	60-90	90-120	0-30	30-60	60-90	90-120
Profundidade (cm)								
Média	0,79	0,70	0,69	0,77	9,71	10,33	10,69	10,78
Mediana	0,81	0,65	0,70	0,70	9,43	9,01	9,10	9,98
DP	0,26	0,26	0,08	0,28	2,89	2,84	3,55	3,48
CV	33,29	36,35	12,37	36,62	29,80	27,53	33,22	32,23
Máx	1,32	1,32	0,86	1,37	14,59	15,38	16,84	17,93
Mín	0,45	0,40	0,55	0,40	6,26	7,39	6,80	7,18
Assim	0,63	1,63	0,60	1,22	0,44	0,78	0,60	0,84
Curt	0,24	3,58	-1,22	2,32	-1,02	-0,88	-1,22	0,52

Profundidade (cm)	PMP				DTA			
	0-30	30-60	60-90	90-120	0-30	30-60	60-90	90-120
Média	4,57	5,05	5,10	5,14	0,72	0,72	0,78	0,77
Mediana	4,13	4,57	4,71	4,96	0,76	0,77	0,75	0,73
DP	1,83	1,65	1,79	1,70	0,16	0,22	0,32	0,26
CV	40,02	32,59	35,13	33,10	21,52	31,14	40,93	33,63
Máx	8,10	8,16	8,51	8,27	0,89	1,02	1,28	1,28
Mín	2,38	2,64	2,39	3,16	0,46	0,44	0,38	0,47
Assim	0,93	0,66	0,60	0,46	-0,52	0,06	0,41	0,82
Curt	0,02	0,10	0,22	-1,05	-1,15	-1,59	-1,22	0,47

DP – desvio padrão (% e mm.cm-1); CV – coeficiente de variação (%); Máx – valor máximo (% e mm.cm-1); Mín – valor mínimo (% e mm.cm-1); Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose; Un – umidade natural (%); CC – capacidade de campo (%); PMP – ponto de murcha permanente (%); DTA – Disponibilidade total de água no solo (mm.cm-1)

Segundo Gomes (2000) a umidade natural do solo apresentou coeficientes de variação classificados como muito alto nas profundidades de 0 a 30; 30 a 60 e 90 a 120 cm (CV = 33,29 36,35 e 12,37 % respectivamente), enquanto que na camada de 60 a 90 cm foi classificado como médio (CV = 12,37 %). A capacidade de campo apresentou comportamento semelhante, sendo os coeficientes de variação para as camadas de 0 a 30 e de 30 a 60 cm (CV = 29,80 e 27,53 % respectivamente) classificados como altos, e nas demais camadas classificadas como muito alto (CV = 32,22 e 32,23 %). O ponto de murcha apresentou valores de coeficiente de variação em todas as camadas classificados como muito altos (CV > 30%). O parâmetro disponibilidade

total de água apresentou variação alta na camada inicial de 0 a 30 cm ( $CV = 21,52\%$ ) enquanto que nas demais foi classificada como muito alta.

Os coeficientes de assimetria e de curtose apresentados na tabela 8 juntamente com os histogramas (Figuras 25, 26, 27 e 28), mostram que apenas para a umidade natural nas profundidades de 30 a 60 e 90 a 120 cm (Figura 25.b e 25.d respectivamente) os dados não apresentaram uma tendência a normalidade de distribuição.

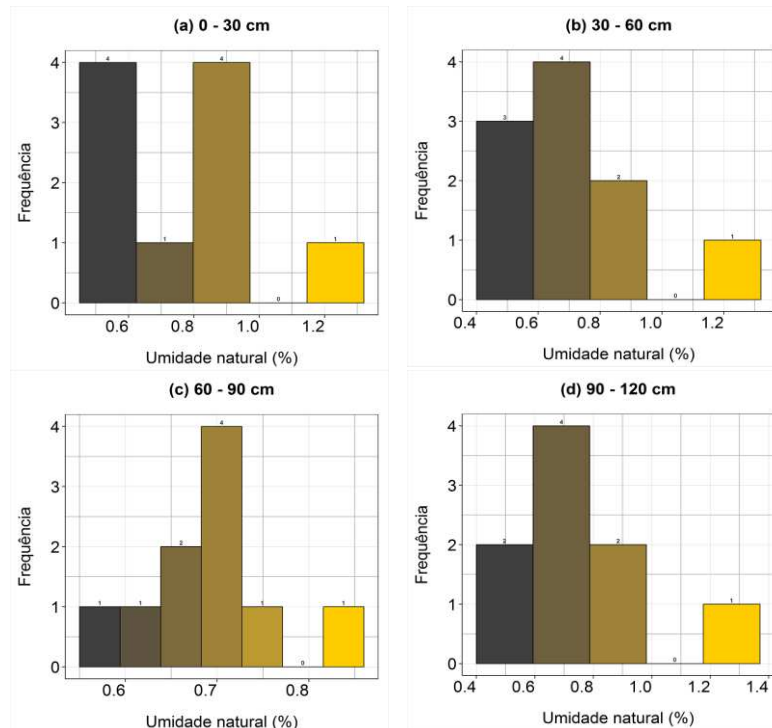
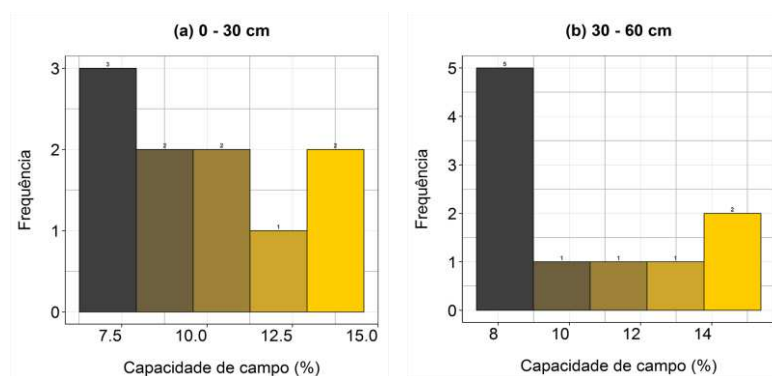


Figura 25. Histogramas para umidade natural do solo nas profundidades investigadas na área experimental 1.



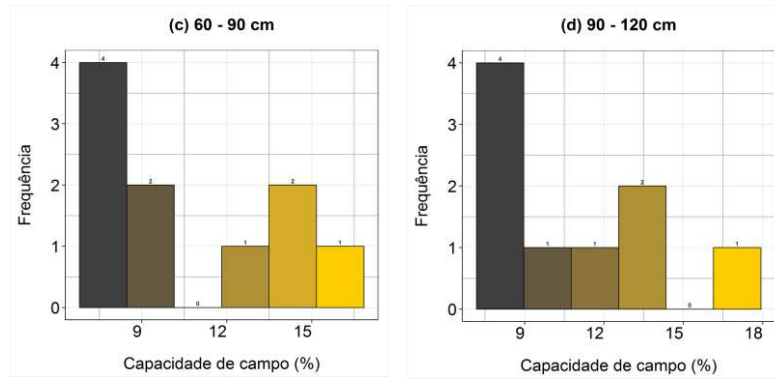


Figura 26. Histogramas para capacidade de campo do solo nas profundidades investigadas na área experimental 1.

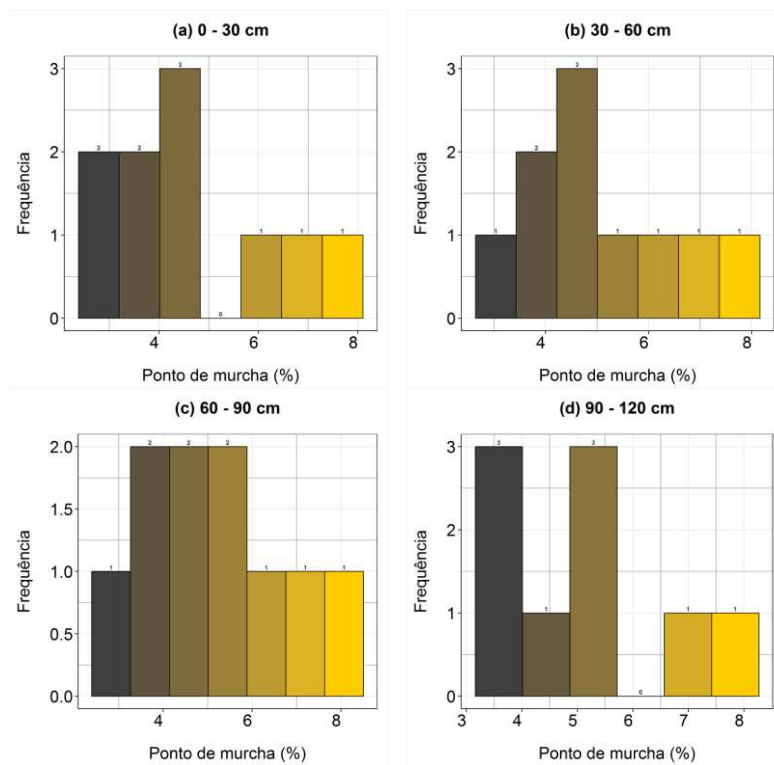
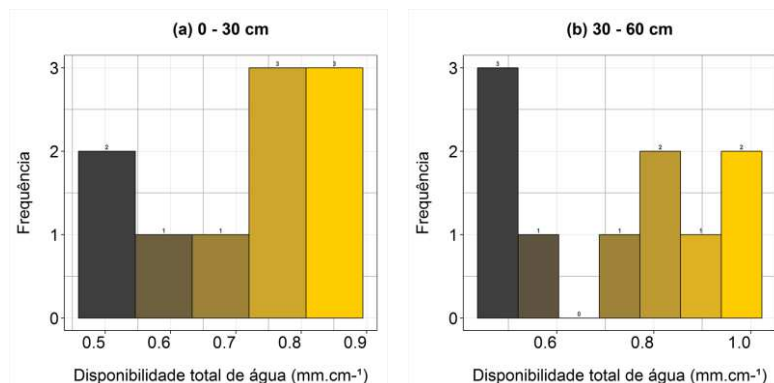


Figura 27. Histogramas para ponto de murcha do solo nas profundidades investigadas na área experimental 1.



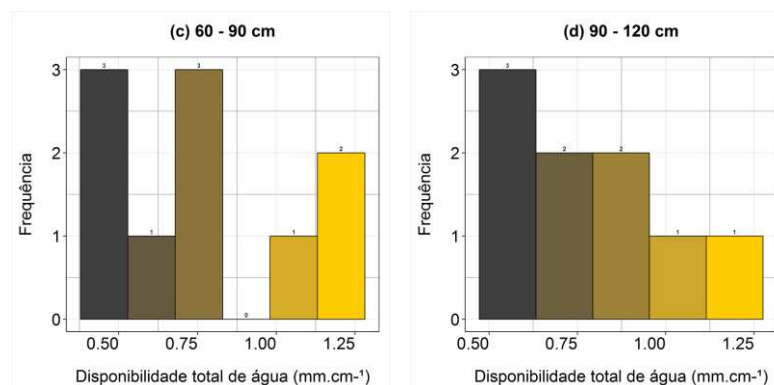


Figura 28. Histogramas para disponibilidade total de água do solo nas profundidades investigadas na área experimental 1.

A partir dos resultados obtidos com a aplicação das medidas estatísticas para os parâmetros umidade natural ( $U_n$ ), capacidade de campo ( $CC$ ), ponto de murcha permanente ( $PMP$ ) e disponibilidade total de água ( $DTA$ ) no solo, na área experimental 2 (Tabela 9), observa-se que os dados apresentaram grande variabilidade, semelhante aos resultados obtidos para a área experimental 1.

Tabela 9: Medidas estatísticas associadas a variabilidade dos parâmetros de retenção de água no solo nas diferentes profundidades estudadas, na área experimental 2.

Medidas estatísticas	$U_n$				$CC$				
	Profundidade (cm)	0-30	30-60	60-90	90-120	0-30	30-60	60-90	90-120
Média		0,49	0,43	0,46	0,42	8,60	11,74	12,86	14,58
Mediana		0,45	0,40	0,45	0,38	8,27	10,81	11,90	13,87
DP		0,19	0,24	0,10	0,13	2,22	5,31	4,22	6,49
CV		38,35	54,88	21,00	31,65	25,75	45,23	32,85	44,51
Máx		0,86	1,06	0,65	0,70	13,40	21,72	20,62	25,90
Mín		0,30	0,20	0,35	0,25	6,53	6,61	6,26	6,22
Assim		0,93	2,41	0,57	1,16	1,33	2,41	0,57	1,16
Curt		0,27	6,84	0,20	1,46	1,34	6,84	0,20	1,46
Profundidade (cm)	$PMP$				$DTA$				
	0-30	30-60	60-90	90-120	0-30	30-60	60-90	90-120	
Média	3,39	5,26	6,04	6,88	0,76	0,90	0,95	1,05	
Mediana	3,11	4,34	5,83	5,28	0,69	0,88	0,97	1,20	
DP	0,77	2,50	2,72	3,77	0,22	0,40	0,32	0,41	
CV	22,74	47,48	45,04	54,83	28,88	44,79	33,59	39,05	
Máx	5,23	10,69	10,76	12,75	1,14	1,51	1,39	1,67	
Mín	2,50	3,17	2,94	3,23	0,48	0,41	0,47	0,42	
Assim	1,45	0,52	0,87	0,90	0,66	0,46	-0,01	-0,35	
Curt	1,32	-1,04	-1,16	-0,06	-0,67	-1,02	-1,29	-0,90	

DP – desvio padrão (% e mm.cm-1); CV – coeficiente de variação (%); Máx – valor máximo (% e mm.cm-1); Mín – valor mínimo (% e mm.cm-1); Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose; Un – umidade natural (%); CC – capacidade de campo (%); PMP – ponto de murcha permanente (%); DTA – Disponibilidade total de água no solo (mm.cm-1)

Os valores de coeficiente de variação para a umidade natural na profundidade de 60 a 90 cm, da capacidade de campo e do ponto de murcha na camada de 0 a 30 cm são classificados como altos ( $20 > CV > 30$  %). Os demais coeficientes de variação foram classificados como muito alto (GOMES, 2000)

As características de retenção de água do solo são diretamente influenciadas pela composição mineralógica do mesmo, tendo em vista que nas duas áreas ficou evidenciado a predominância de solos com textura arenosa, este fato faz com que a capacidade de retenção de água nas duas áreas seja baixa. Tomando como exemplo a profundidade de 0 a 30 cm que é considerada a zona efetiva radicular da maioria das culturas, os valores de disponibilidade total de água no solo para as áreas experimentais 1 e 2 respectivamente foi de 0,72 e 0,76 mm.cm<sup>-1</sup>, valores estes muito baixos e com alta variabilidade apresentada pelos coeficientes de variação das amostras ( CV = 21,52 e 28,88 %) e a presença de valores máximos (0,89 e 1,14 mm.cm<sup>-1</sup>) e mínimos (0,46 e 0,48 mm.cm<sup>-1</sup>) muito distantes, evidencia que a média aritmética não é a melhor representação de tendência central, bem como se faz necessária a adoção de técnicas adequadas de monitoramento e manejo da área para proporcionar rendimentos satisfatórios das culturas.

Segundo os limites mostrados por Carvalho e Oliveira (2012) para a disponibilidade total de água no solo em função da textura do mesmo, os valores encontrados nesta pesquisa estão de acordo com a classificação de textura encontrada nas duas áreas estudadas (0,4 a 0,8 e 0,8 a 1,6 mm.cm<sup>-1</sup> para textura grossa e média respectivamente.

Quanto à normalidade de distribuição dos dados, os coeficientes de assimetria e de curtose apresentados na tabela 9 juntamente com os histogramas (Figuras 29, 30, 31 e 32), mostram que os dados de umidade natural nas profundidades de 0 a 30 e 60 a 90 cm (Figura 29.a e 29.c), capacidade de campo de 60 a 90 cm (Figura 30.c), ponto de murcha de 30 a 60, 60 a 90 e 90 a 120 cm (Figura 31.b, 31.c e 31.d) e disponibilidade total de água em todas as profundidades, apresentam tendência de distribuição normal.

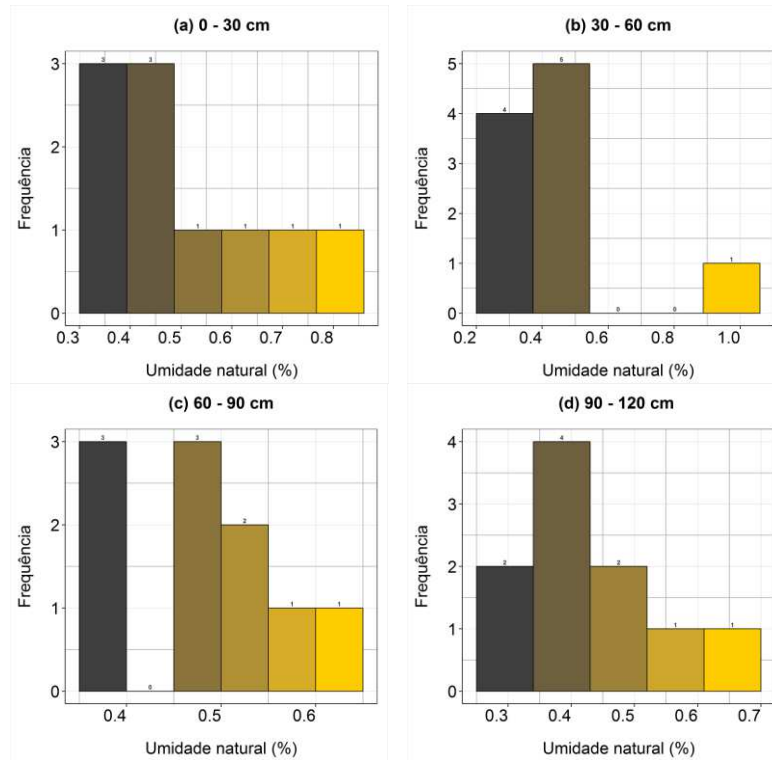


Figura 29. Histogramas para umidade natural do solo nas profundidades investigadas na área experimental 2.

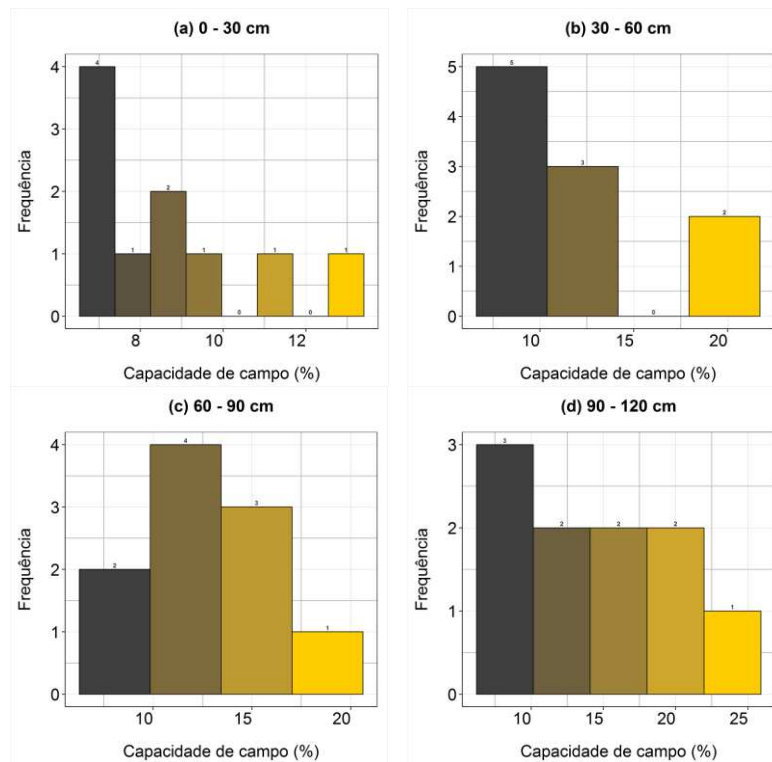


Figura 30. Histogramas para capacidade de campo do solo nas profundidades investigadas na área experimental de 2.



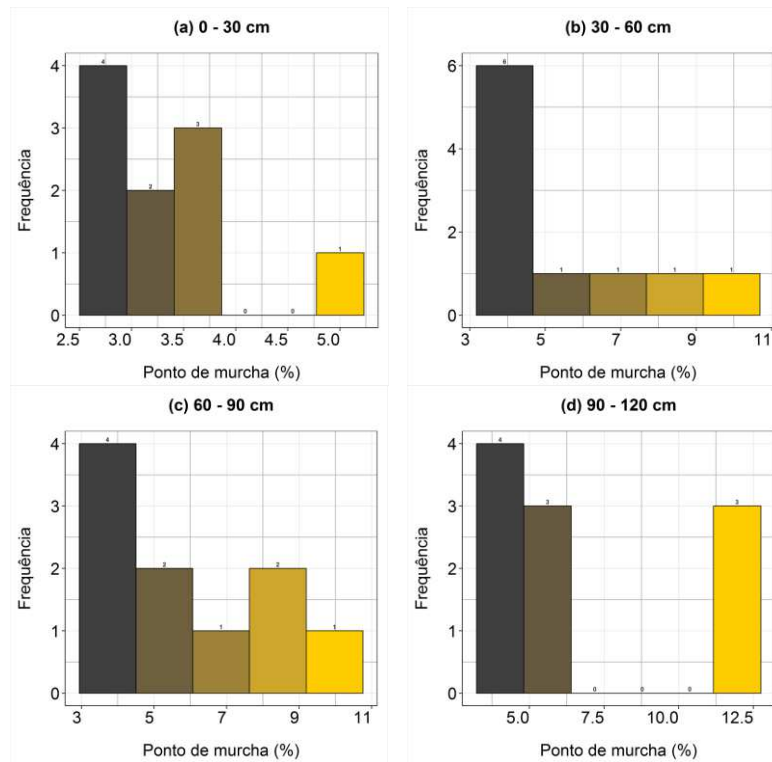


Figura 31. Histogramas para ponto de murcha do solo nas profundidades investigadas na área experimental 2.

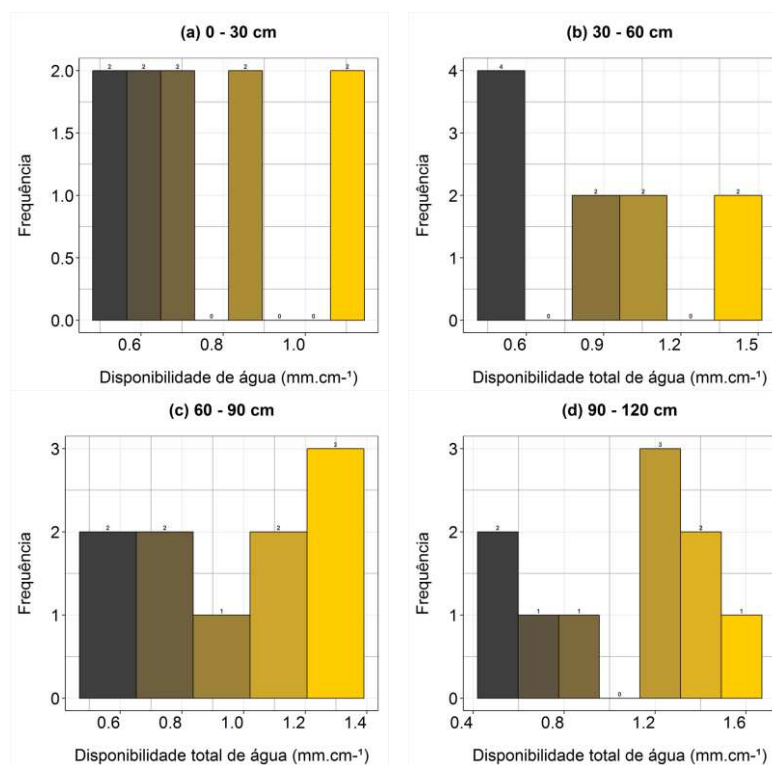


Figura 32. Histogramas para disponibilidade total de água do solo nas profundidades investigadas na área experimental 2.

### 5.1.6 Salinidade do solo

Na tabela 10 são mostrados os resultados da análise estatística descritiva para os parâmetros condutividade elétrica do extrato de saturação (CE<sub>es</sub>), potencial hidrogênico (pH), porcentagem de sódio trocável (PST).

Tabela 10: Medidas estatísticas dos parâmetros de avaliação da salinidade do solo das áreas de estudo

Medidas estatísticas	Área experimental 1			Área experimental 2		
	CE <sub>es</sub>	pH	PST	CE <sub>es</sub>	pH	PST
Média	2,72	6,30	6,00	0,77	6,72	2,17
Mediana	2,12	6,20	3,24	0,53	6,75	1,15
DP	2,46	0,61	6,05	0,52	0,70	2,01
CV	90,45	9,65	100,82	67,71	10,41	92,51
Máx	8,92	7,40	16,49	1,73	8,20	5,90
Mín	0,58	5,50	0,31	0,33	5,75	0,49
Assim	2,00	0,92	0,91	1,20	0,71	1,26
Curt	4,84	0,20	-0,86	-0,22	1,38	0,19

DP – desvio padrão) CV – coeficiente de variação (%); Máx – valor máximo; Mín – valor mínimo (% e mm.cm-1); Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose CE<sub>es</sub> – condutividade elétrica do extrato de saturação; pH – potencial hidrogênico; PST – porcentagem de sódio trocável

Observa-se grande variabilidade dos dados obtidos para caracterização da salinidade do solo. Os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação para a área experimental 1 variaram entre 0,58 e 8,92 dS.m<sup>-1</sup>, enquanto que para a área experimental 2 a variação ficou entre os valores de 0,33 e 1,73 dS.m<sup>-1</sup>. Os coeficientes de variação obtidos para esta variável foram de 90,45 e 67,71 %, respectivamente, para as áreas 1 e 2, sendo estes classificados segundo Gomes (2000) como muito alto.

No que se refere aos dados de potencial hidrogênico do solo, os dados observados para as medidas de tendência central (média e mediana) estão próximos, indicando que este parâmetro apresenta baixa variabilidade nas duas áreas de estudo, sendo evidenciados pelos valores de coeficiente de variação obtidos de 9,65 e 10,41 %, classificados como de baixa e média variabilidade, respectivamente, para as áreas 1 e 2.

A porcentagem de sódio trocável é um importante indicador de qualidade do solo quanto aos riscos de salinização, o seu conhecimento é de fundamental importância nos estudos de diagnóstico de necessidade de drenagem. Esta variável apresentou oscilações bastante expressivas conforme os valores médios, máximos e mínimos de 6,0; 8,92 e 0,58 respectivamente, para a área experimental 1, e 2,17; 5,90 e 0,49 para a área experimental 2. Este comportamento resultou em valores de coeficiente de variação classificados como muito altos

segundo Gomes (2000), sendo estes 100,82 e 92,51 % respectivamente para as áreas experimentais 1 e 2.

Júnior (2013) estudando a variabilidade dos parâmetros de salinidade do solo em uma área sob cultivo da bananeira, observou coeficiente de variação muito alto para a condutividade elétrica do extrato de saturação (CV = 53%) e baixo para o potencial hidrogênico (CV = 6 %) e alto para a porcentagem de sódio trocável (CV = 21%).

A classificação do solo quanto a salinidade segue o apresentado por Richards (1954), o qual baseia-se nos efeitos da salinidade na fisiologia das culturas e, sódio trocável nas propriedades do solo, que são expressos em termos de condutividade elétrica do extrato de saturação ( $CE_{es}$ ) e a porcentagem de sódio trocável (PST), classificando o solo em três categorias Salino, Salino-Sódico e Sódico (GHEYI et al., 2010). As classes de solo quanto ao risco de salinização observadas na área experimental 1 são mostradas na figura 33, para a área experimental 2 o solo não apresentou riscos de salinização, sendo classificado como não salino quanto a salinidade e classe de solo normal em todas as amostras.

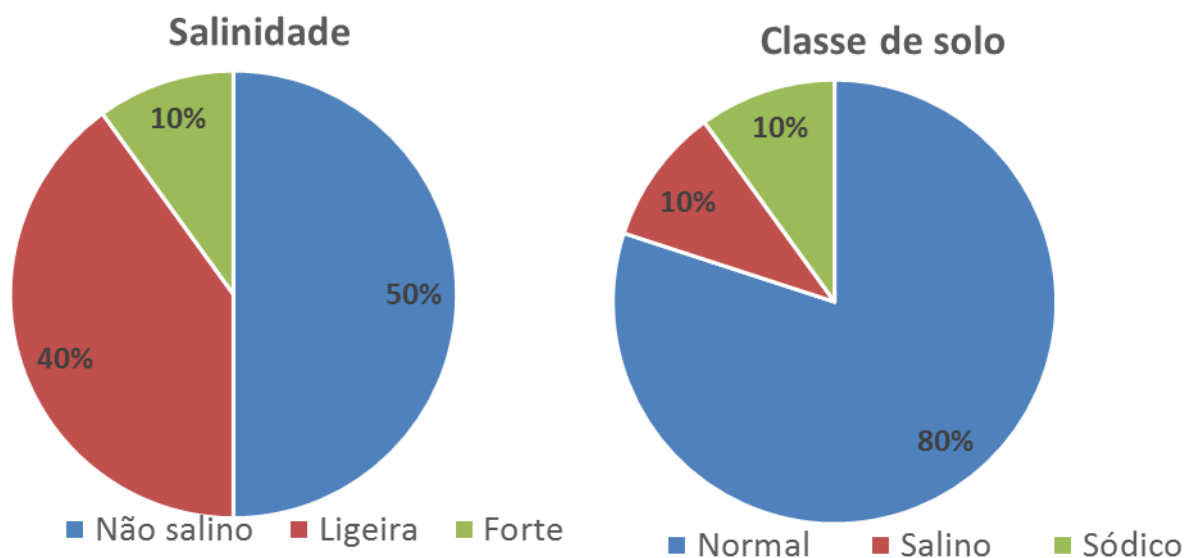


Figura 33. Porcentagem de Salinidade e Classificação do solo, na área experimental 1.

Observa-se com a figura 33 que a área experimental 1 apresenta 50% das amostras de solo com algum problema de salinidade, sendo representadas pelas classes de ligeira salinidade (40 %) e forte salinidade (10 %). Este fato pode ser atribuído a qualidade da água utilizada na irrigação da área, bem como a intensidade do processo de salinização pelo sistema de irrigação empregado (Gotejamento e Microaspersão). Quanto às classes de solo amostradas, a classe normal apresenta maior percentual (80 %) em relação às classes salino (10%) e sódico (10%). Segundo Dias et al. (2003) solos sódicos são fracamente agregados, adensados e compactados

quando secos, e pegajosos e plásticos quando úmidos, devido a isto, o mesmo apresenta baixa permeabilidade, são pegajosos e difícil de serem trabalhados.

De acordo com os valores de coeficiente de assimetria e curtose apresentados na tabela 10, é confirmada a não distribuição normal dos dados ( $Assim \neq 0$  e  $Curt \neq 3$ ), juntamente com os histogramas da figura 34, observa-se apenas a tendência a uma distribuição normal para os parâmetros pH e PST na área experimental 1 (Figura 34.b e 34.c), e pH para a área experimental 2 (Figura 34.e).

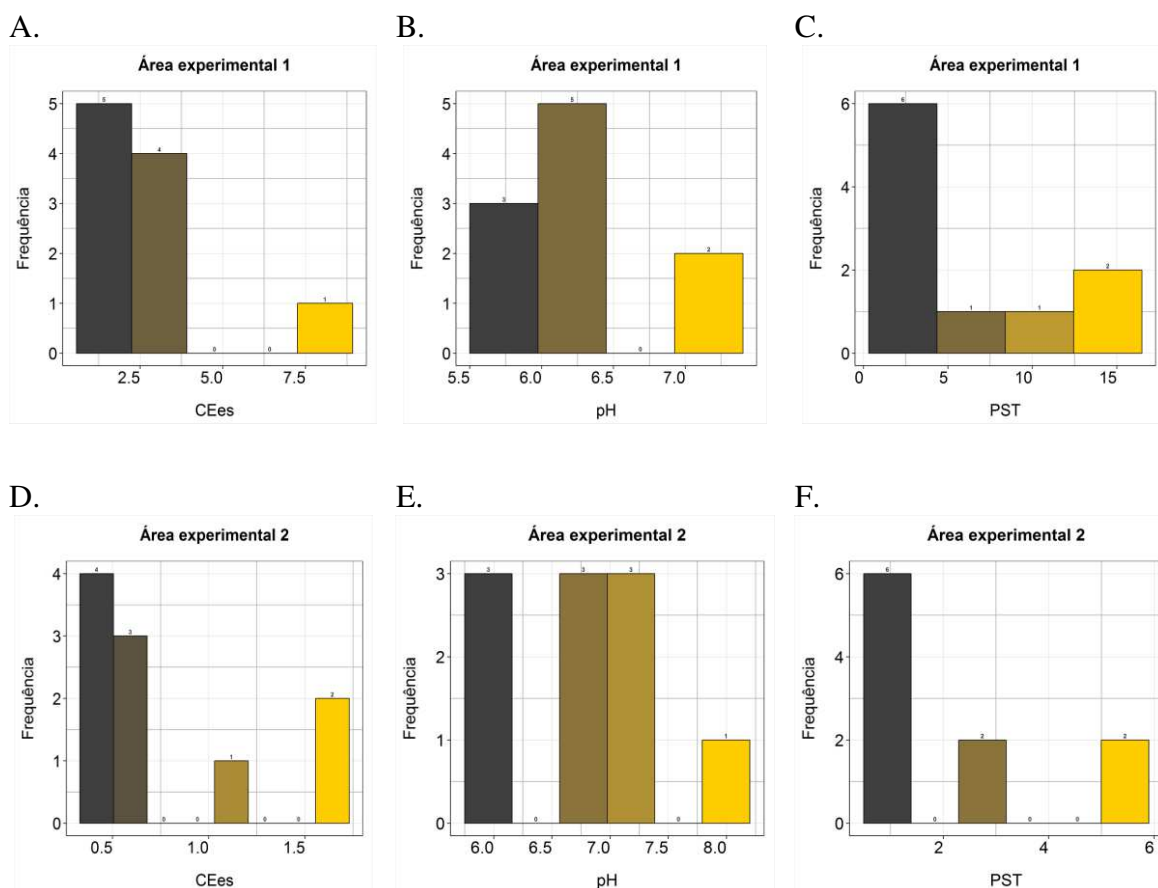


Figura 34. Histogramas dos parâmetros de salinidade do solo das áreas de estudo.

Segundo Gheyi et al. (2010), se os parâmetros que caracterizam a salinidade do solo ( $CE_{es}$ , pH e PST) variam espacialmente e não se ajustam a uma distribuição normal de probabilidade, a média não pode ser usada como um parâmetro representativo para recomendações quanto as técnicas de recuperação e manejo.

Em estudos de diagnóstico de necessidade de drenagem, Farias (1999) e Júnior (2013) não encontraram comportamento linear para a distribuição dos dados de parâmetros de salinidade do solo.

## 5.2 Hidrodinâmica do solo

### 5.2.1 Porosidade drenável

Na tabela 11 são apresentados os valores das medidas estatísticas sobre o parâmetro porosidade drenável do solo ( $\mu$ ), para as diferentes profundidades analisadas, nas duas áreas experimentais. Observa-se que este parâmetro apresentou variabilidade de baixa a média nas duas áreas de estudo.

Tabela 11: Medidas estatísticas associadas a variabilidade porosidade drenável nas diferentes profundidades estudadas, nas duas áreas experimentais.

Porosidade drenável (%)								
Ponto	Área experimental 1				Área experimental 2			
	Profundidade (cm)							
	0 - 30	30 - 60	60 - 90	90 - 120	0 - 30	30 - 60	60 - 90	90 - 120
Média	37,30	38,38	37,74	37,85	37,18	36,78	35,81	35,03
Mediana	37,54	38,23	38,35	37,69	37,70	37,60	35,26	33,79
DP	2,34	3,39	4,32	3,28	3,89	4,56	5,13	6,18
CV	6,3	8,8	11,4	8,7	10,5	12,39	14,33	17,64
Máx	41,31	43,97	43,20	42,39	42,79	42,46	42,04	42,50
Mín	34,04	31,41	31,29	31,88	31,28	27,72	26,96	26,51
Assim	0,18	-0,42	-0,42	-0,44	-0,19	-0,68	-0,26	-0,06
Curt	-0,75	1,57	-1,22	0,42	-1,17	0,31	-0,83	-1,70

DP – desvio padrão (%); CV – coeficiente de variação (%); Máx – valor máximo (%); Mín – valor mínimo (%); Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose.

Pelos limites do coeficiente de variação proposto por Gomes (2000), a porosidade drenável na área experimental 1 obteve valores classificados como baixo ( $CV < 10\%$ ) nas profundidades estudadas, exceto na de 60 a 90 cm ( $CV = 11,4\%$ ). Para a área experimental 2 os coeficientes de variação ficaram entre os valores de 10,5 e 17,64 %, sendo classificados como médio ( $10 < CV < 20\%$ ).

Os valores aproximados observados entre a média e a mediana nos casos evidenciados nesta pesquisa, aliados aos baixos valores de desvio padrão e coeficientes de variação, dão indícios de uma distribuição com tendência a normalidade dos dados coletados. Este fato é comprovado pelos valores de coeficiente de assimetria e curtose mostrados na tabela 11, juntamente com os histogramas das figuras 35 e 36, onde ficou comprovada a distribuição com tendência normal para todas as profundidades, nas duas áreas.

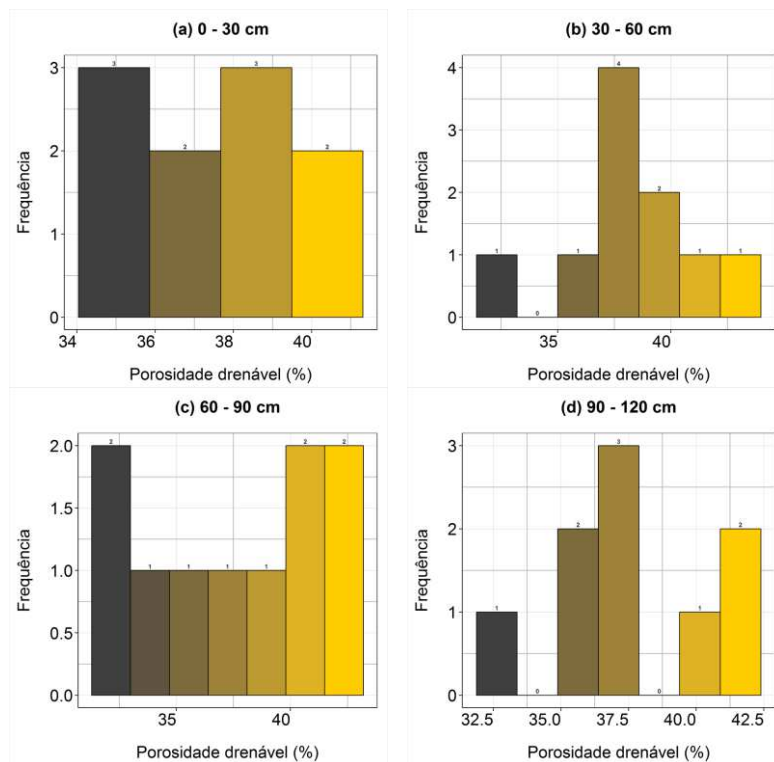


Figura 35. Histogramas para a porosidade drenável nas profundidades investigadas na área experimental 1.

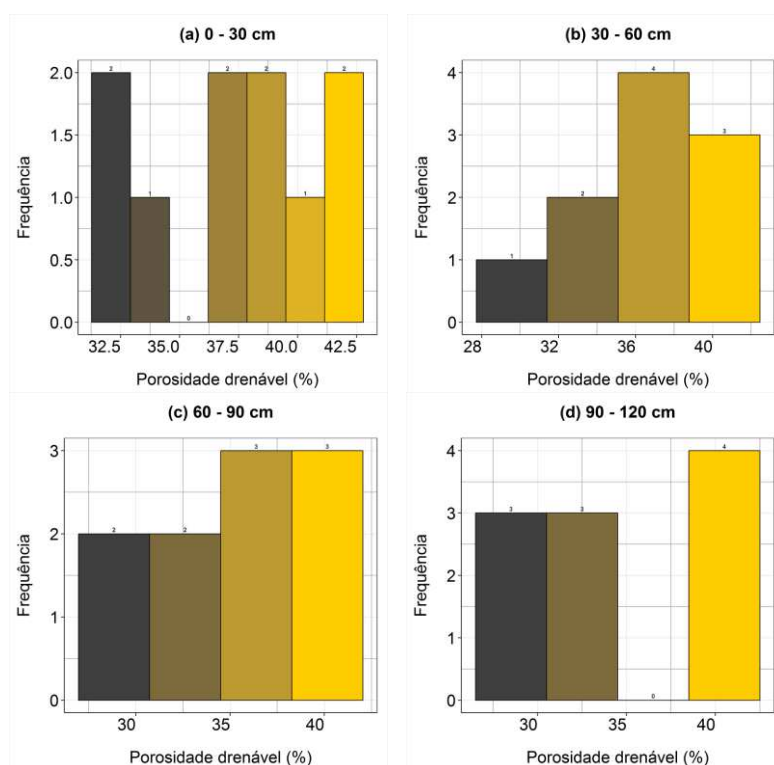


Figura 36. Histogramas para a porosidade drenável nas profundidades investigadas na área experimental 2.

Queiroz et al (1999) estudando a variabilidade da porosidade drenável de um solo de várzea, empregando-se técnicas estatísticas descritivas, obtiveram valores de porosidade drenável com variação de 2,17 a 14,31% (6,6 vezes), média e mediana muito próximos (6,41 e 6,40 % respectivamente), além de desvio-padrão de 2,81 % e coeficiente de variação de 43,8 %, confirmando uma distribuição normal dos dados.

A variabilidade dos parâmetros hidrodinâmicos está diretamente associada às propriedades físicas do solo, principalmente a textura. Nos solos das áreas experimentais foram encontradas diferentes classes texturais, ocorrendo a predominância de classes arenosas. De acordo com os resultados obtidos por Feitoza (2006), concluíram que solos de texturas mais grosseiras apresentam porosidades drenáveis maiores, enquanto os solos de texturas mais finas têm menores porosidades drenáveis.

Em diagnóstico de necessidade de drenagem realizado em uma área com produção de frutíferas, Júnior (2013) obteve a não aderência dos dados de porosidade drenável a uma distribuição normal. O mesmo afirma que a média variabilidade de variação deste parâmetro está diretamente associada às propriedades físicas do solo, principalmente a textura.

### **5.2.2 Variabilidade espacial da Condutividade hidráulica**

Para a análise estatística descritiva dos dados de condutividade hidráulica foram desconsiderados os valores de outliers, que são valores que estão muito afastados da maioria dos dados. Foram identificados dois valores nestas condições na área experimental 2, onde as condutividades hidráulicas obtidas através de três testes realizados, em dois locais de medição (locais onde foram instalados os poços de observação 1 e 2), indicaram valores de 8,55 e 28,83 m.dia<sup>-1</sup>. Este fato pode ser explicado pelo relato do proprietário da área, questionado em outro momento após a realização dos testes, de que os locais onde foram realizados estes testes tratava-se de um desvio natural do rio Bomfim existente na propriedade, evidenciando assim a possível presença de um dreno natural subterrâneo nestes locais (que são próximos), fazendo com que os valores de condutividade hidráulica fossem muito superiores aos encontrados no restante da área. Por isso, como forma de evitar grandes interferências nos dados amostrados, estes foram desconsiderados na estatística descritiva. Vale ressaltar que em outro ponto (onde instalou-se o poço de observação 6), não foi possível realizar o teste de condutividade, devido ao mesmo fato explicado anteriormente, que fez com que a drenagem da água colocada no poço para realização do teste fosse drenada de forma muito rápida, não conseguindo, portanto, a estabilização da água no interior do poço, impossibilitando a realização do teste. Com isso, os

dados de condutividade hidráulica para a área experimental 2, mostrados a seguir são representativos de 7 pontos de teste.

Na tabela 12, são apresentados os valores das medidas estatísticas da variável hidrodinâmica condutividade hidráulica ( $K_0$ ), para as duas áreas de estudo.

Tabela 12. Medidas estatísticas associadas a condutividade hidráulica nas duas áreas de estudo.

Ponto	Condutividade hidráulica (m.dia <sup>-1</sup> )	
	Área experimental 1	Área experimental 2
Média	0,54	0,26
Mediana	0,50	0,20
DP	0,26	0,16
CV	47,23	62,55
Máx	1,09	0,58
Mín	0,26	0,10
Assim	1,19	1,58
Curt	1,24	2,54

DP – desvio padrão (m.dia-1); CV – coeficiente de variação (%); Máx – valor máximo (m.dia-1); Mín – valor mínimo (m.dia-1); Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose.

Segundo Gomes (2000), a variabilidade dos dados de condutividade hidráulica, representada pelo valor do coeficiente de variação, é classificada como muito alta, sendo observado valores de 47,23 e 62,55 % respectivamente para as áreas experimentais um e dois. Este comportamento pode ser justificado pelos valores elevados de desvio padrão em relação à média, observados nos dados referentes as duas áreas, assim como pelos valores máximos e mínimos distantes, sendo para área experimental 1 estes 1,09 e 0,26 m.dia<sup>-1</sup> e para a área experimental 2 0,58 e 0,10 m.dia<sup>-1</sup>, máximos e mínimos respectivamente.

Os diferentes valores de condutividade hidráulica do solo obtidos no conjunto de dados dos testes realizados a campo, nas duas áreas experimentais, foram classificados de acordo com o proposto por Millar (1988). As classes de condutividade hidráulica observadas na área experimental 1 foram “Moderada” e “Moderadamente Lenta”, em 50 % dos testes. Já na área experimental 2, observou-se as classes “Moderada”, “Moderadamente Lenta” e “Lenta”, sendo a classe Moderada observada em 72 % dos testes.

A partir da figura 37, observa-se que para a área experimental 1, os dados de condutividade estão divididos entre as classes Moderada e moderadamente lenta, em porcentagens iguais. Já para a área experimental 2, observa-se maior variabilidade dos valores, sendo estes distribuídos em três classes de condutividade hidráulica, sendo elas: lenta, moderadamente lenta e moderada.



Os valores de média diferentes da mediana indicam a não adequação dos dados de condutividade hidráulica a uma distribuição normal. Este fato é comprovado pelos valores de coeficiente de assimetria mostrados na tabela 12, juntamente com os histogramas mostrados na figura 37.

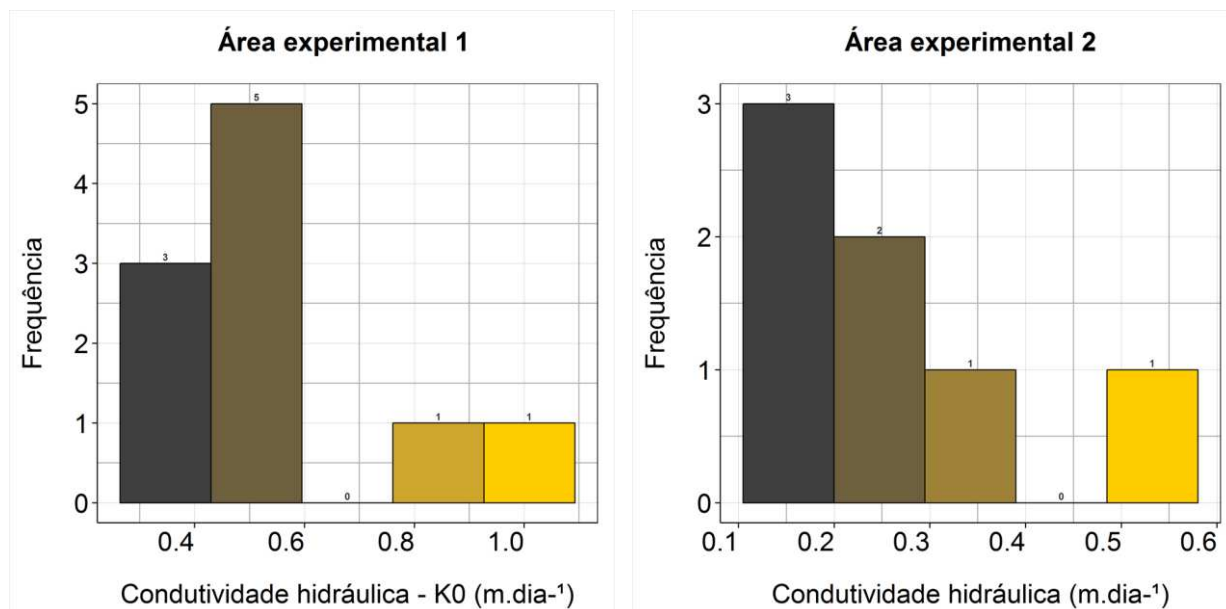


Figura 37. Histogramas para a condutividade hidráulica nas duas áreas de estudo.

A alta variabilidade da condutividade hidráulica do solo, mostrada através dos altos valores de coeficiente de variação, é relatada por diversos autores. Silva et al. (2005) encontraram coeficientes de variação altos para a condutividade hidráulica, variando de 186,25% e 296,73% o que confirma o elevado grau de variabilidade deste parâmetro hidrodinâmico. Jury et al. (1991) indicaram que o coeficiente de variação para a condutividade hidráulica em solo saturado pode variar de 48% a 320%. Abreu et al. (2004) encontraram o valor de 62,7% para o coeficiente de variação da condutividade hidráulica, determinada a campo com a utilização do permeâmetro de Guelph. Utilizando o método de Auger Hole inverso (Porchet) na determinação da condutividade a campo, Júnior (2013) obteve coeficiente de variação igual a 63 %. Farias (1999) utilizando os métodos de Auger Hole e Auger Hole inverso para determinação da condutividade hidráulica do solo de duas áreas no perímetro irrigado de São Gonçalo – PB, obteve coeficientes de variação de 228,92 e 153,54 %.

Diante o exposto, estes resultados corroboram os valores encontrados por esta pesquisa para os altos valores de coeficiente de variação na determinação da condutividade hidráulica do solo.

Guedes Filho (2009) observou que, independentemente do tipo de solo e manejo, esse atributo apresentou alta variabilidade. Souza & Alves (2003) atribuíram os altos valores de

coeficientes de variação para a condutividade hidráulica saturada ao efeito local, em consequência da alta variabilidade espacial dos solos, típica das propriedades de movimentação tridimensional da água.

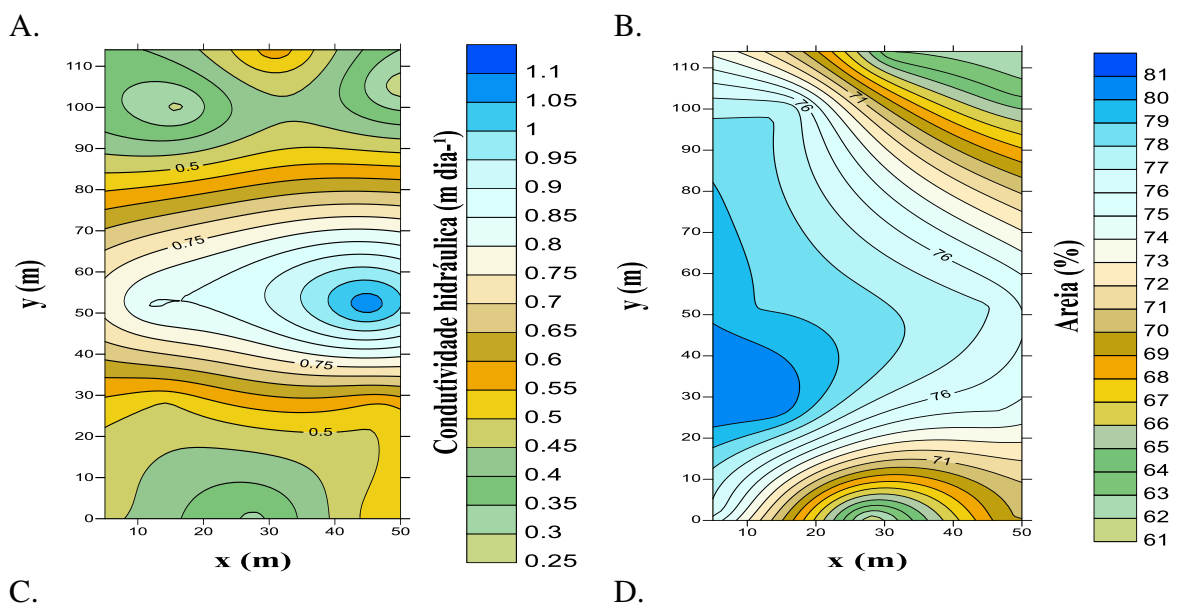
### 5.3 Mapas das propriedades físicas e de salinidade do solo e suas relações com a condutividade hidráulica

Em meio aos objetivos propostos neste estudo, procedeu-se a construção dos mapas das propriedades de granulometria (porcentagem de areia, silte e argila), densidade do solo, porosidade total e porcentagem de sódio total, e da condutividade hidráulica do solo, utilizando o método da krigagem.

Os mapas em escalas de cores serão mostrados para fornecer uma identificação visual da correlação entre as várias propriedades investigadas e a condutividade hidráulica do solo. Também serão apresentados os diagramas de dispersão entre cada uma das propriedades e a condutividade hidráulica do solo, onde será analisado os coeficientes de correlação linear de Pearson ( $r$ ) e o de determinação ( $R^2$ ).

#### 5.3.1 Granulometria

Os mapas de distribuição espacial das propriedades granulométricas do solo e da condutividade hidráulica do solo, da área experimental 1, são mostrados na figura 38.



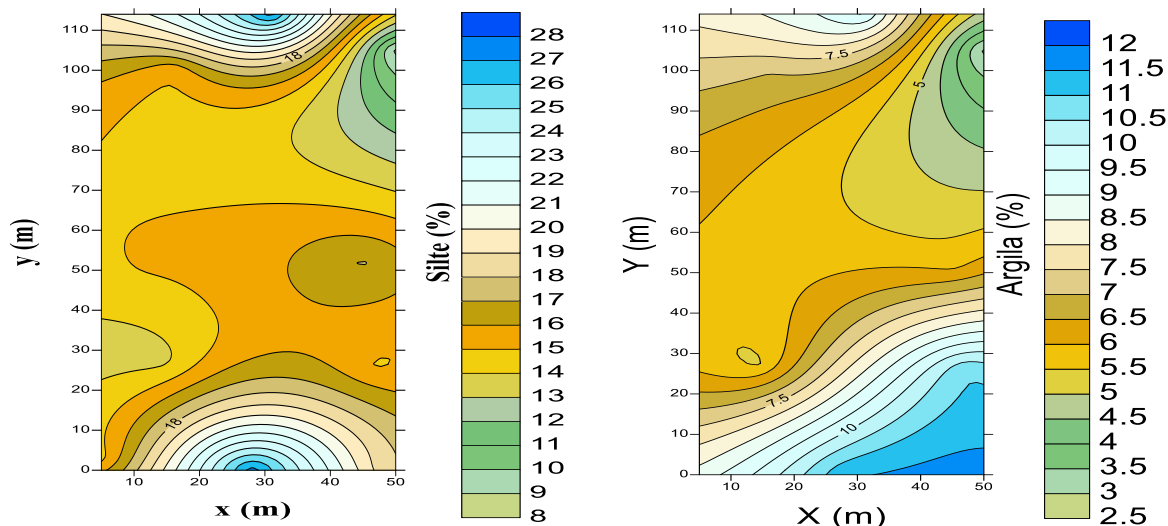
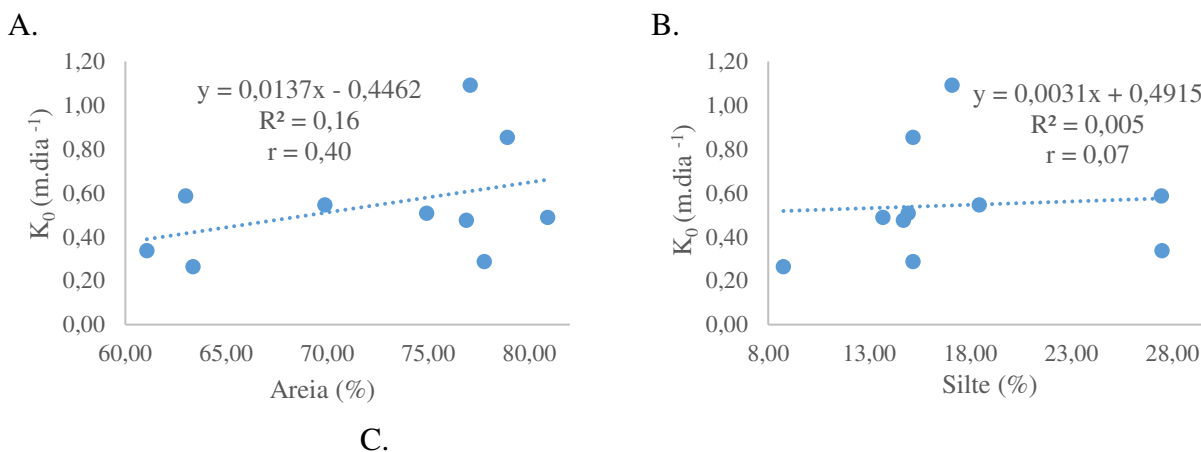


Figura 38. Mapa da condutividade hidráulica do solo e das propriedades granulométricas na área experimental 1.

A partir da análise qualitativa visual, observa-se que de um modo geral as características granulométricas do solo da área experimental 1 não apresentam correlação espacial com a condutividade hidráulica do solo. A não correlação entre os atributos granulométricos do solo e a condutividade hidráulica são confirmados pelos diagramas de dispersão e os respectivos valores dos coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) e de determinação ( $R^2$ ), mostrados na figura 39.



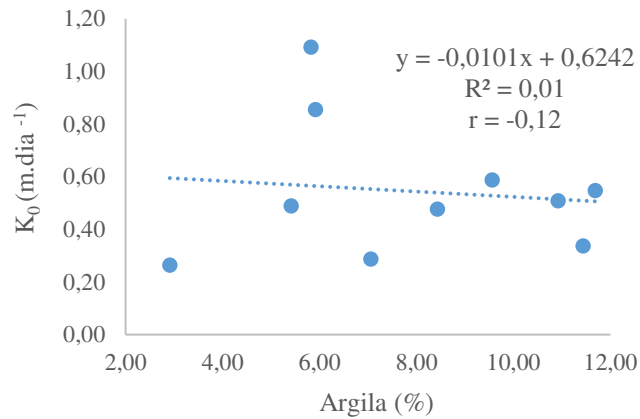
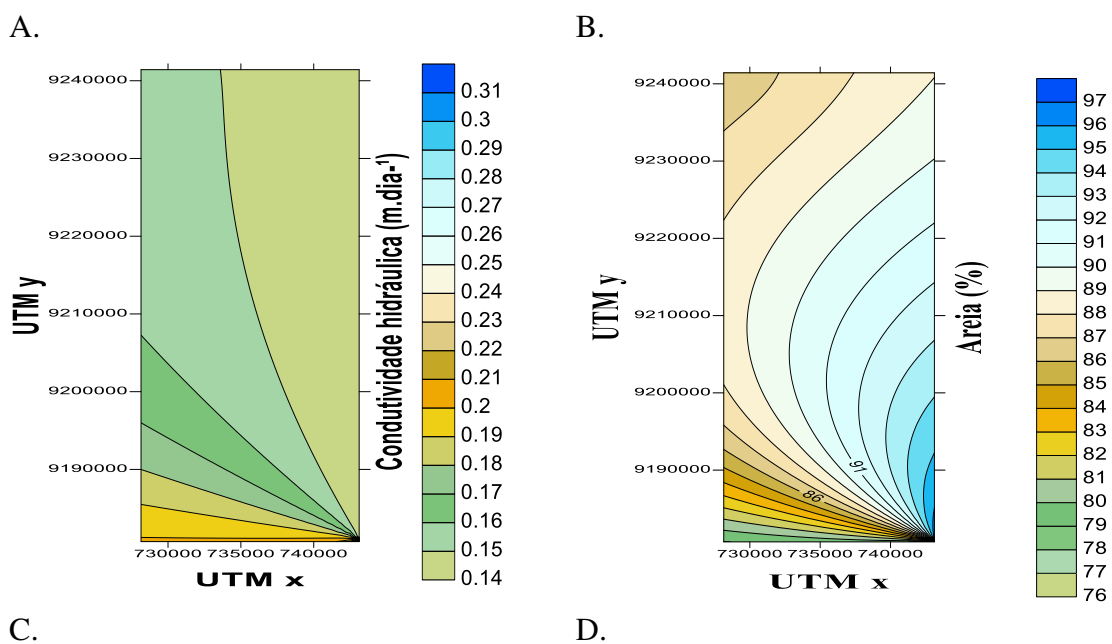


Figura 39. Correlação entre os atributos de granulometria do solo com a condutividade hidráulica para a área experimental 1.

Observa-se a partir da figura 39 que os coeficientes de correlação de Pearson para as porcentagens de areia, silte e argila com a condutividade hidráulica foram de 0,4; 0,07 e 0,12, sendo classificado como de fraca correlação entre estas variáveis. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) varia no intervalo de 0 a 1, sendo os valores situados mais próximos de 1 os que validam a existência de regressão entre duas variáveis. De acordo com os valores obtidos para  $R^2$  dos atributos granulométricos do solo (0,16; 0,005 e 0,01), fica comprovada a baixa correlação entre as variáveis.

Na figura 40 são apresentados os mapas de distribuição das frações granulométricas do solo e da condutividade hidráulica, da área experimental 2.



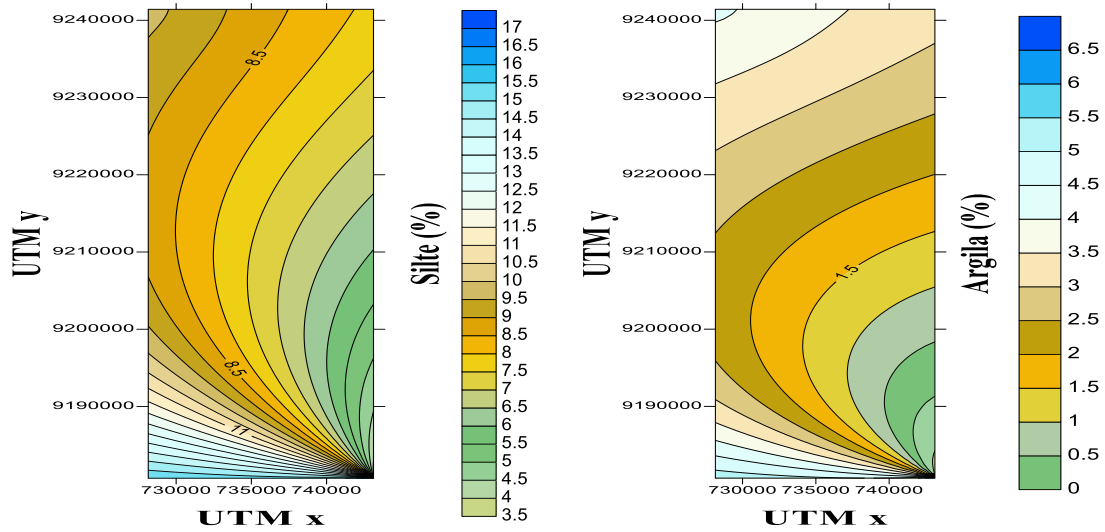
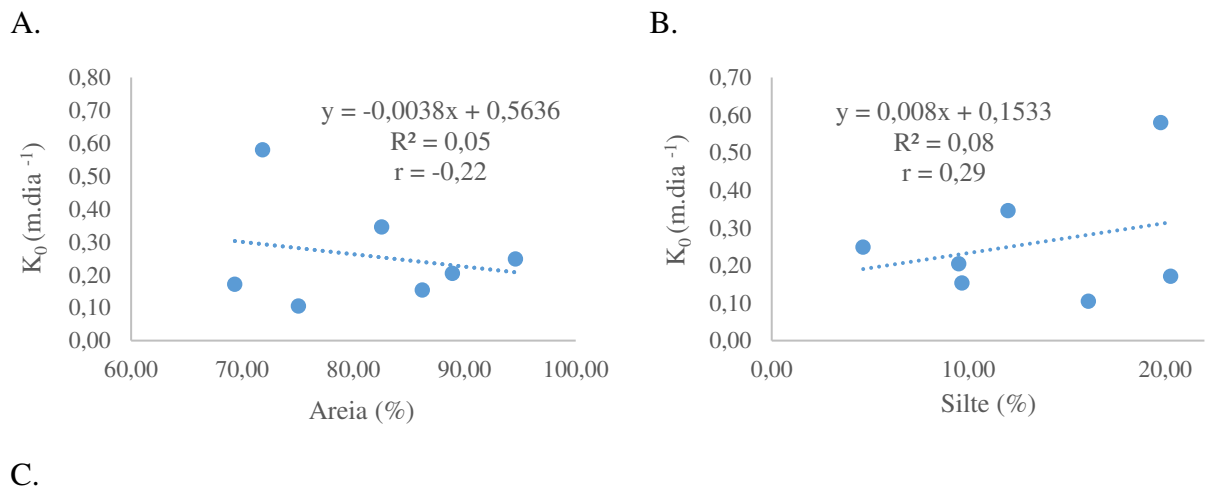


Figura 40. Mapa da condutividade hidráulica do solo e das propriedades granulométricas na área experimental 2.

Conforme a análise comparativa entre o mapa de condutividade hidráulica do solo e os das propriedades granulométricas do solo, percebe-se comportamento semelhante ao apresentado na área experimental 1, a inexistência de correlação entre as variáveis. A figura 41 apresenta o diagrama de dispersão entre estas propriedades.



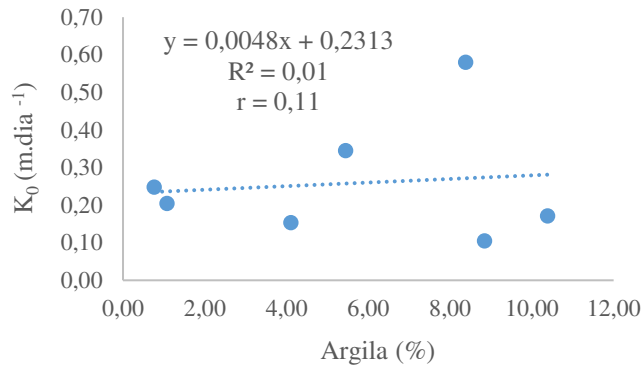


Figura 41. Correlação entre os atributos de granulometria do solo com a condutividade hidráulica para a área experimental 1.

Conforme mostra a figura 41, constatou-se a baixa correlação entre as variáveis de acordo com os valores do coeficiente de Pearson ( $r < 0,5$ ), bem como pelos valores de  $R^2$  de 0,05; 0,08 e 0,01 respectivamente, para areia, silte e argila.

Estes resultados encontrados neste estudo estão de acordo com os encontrados por Ferreira (2008), ao estudar as relações entre a condutividade hidráulica e as propriedades granulométricas do solo sob condições de cultivo convencional, plantio direto e floresta, não encontrou correlação entre estas variáveis.

Para Mesquita & Moraes (2004), a condutividade hidráulica saturada é mais dependente da estrutura do que da textura do solo. Os mesmos ainda afirmam que, as práticas culturais adotadas alterando a estrutura do solo influenciam diretamente a condutividade hidráulica saturada, esses efeitos, em especial dos poros grandes, permitem que solos argilosos tenha valores de condutividade hidráulica similares a solos arenosos.

### 5.3.2 Densidade do solo

A figura 42 apresenta os mapas de distribuição da condutividade hidráulica do solo e da densidade do solo, para as duas áreas experimentais estudadas.

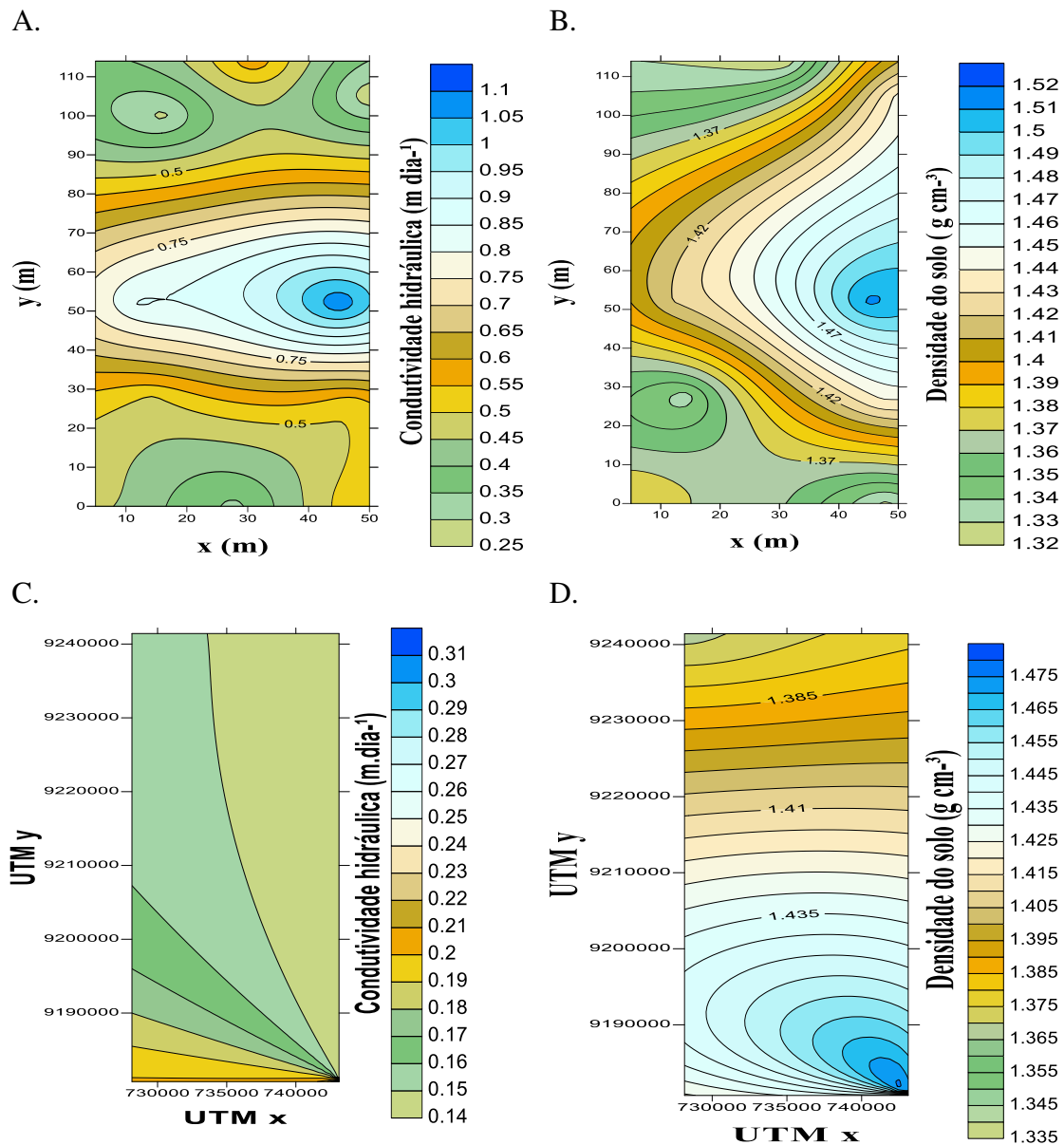


Figura 42. Mapa da condutividade hidráulica do solo e da densidade do solo nas áreas experimentais 1 e 2.

A partir da análise qualitativa da distribuição espacial dos valores obtidos de densidade do solo, comparando espacialmente com a condutividade hidráulica, observa-se que a correlação não é bem definida, sendo nos dois casos observadas algumas regiões onde os maiores valores de condutividade hidráulica (Figura 42.a e 42.c) coincidem com os maiores valores de densidade do solo (Figuras 42.b e 42.d).

Essa informação é corroborada a partir dos diagramas de correlação entre a densidade do solo e a condutividade hidráulica, mostrados na figura 43, e os respectivos valores de coeficiente de correlação de Pearson e de determinação.

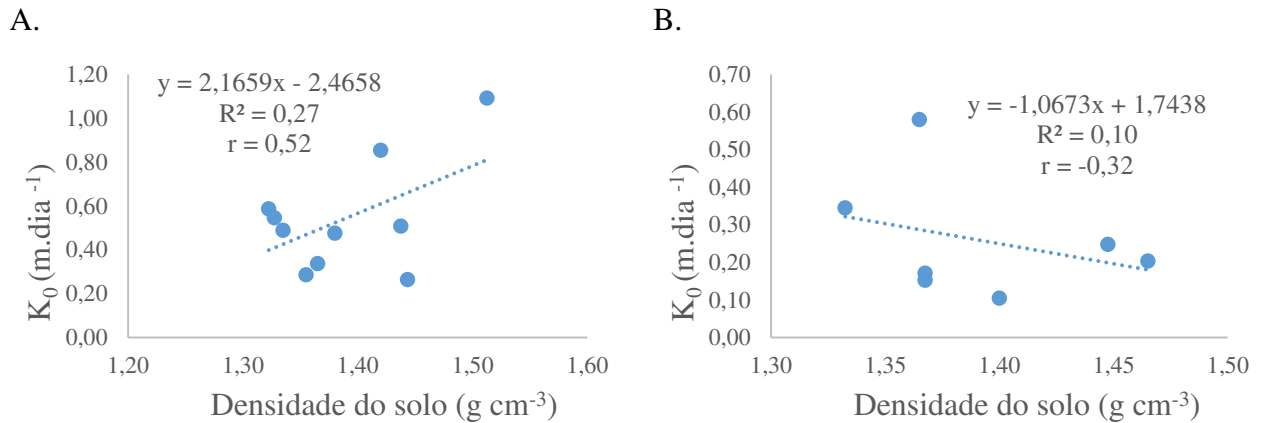


Figura 43. Correlação entre a densidade do solo com a condutividade hidráulica para as áreas experimentais 1 (a) e 2 (b).

Analisando a figura 43.a, percebe-se através do coeficiente de regressão da equação da reta que define a relação entre a condutividade hidráulica e a densidade do solo na área experimental 1, a proporcionalidade existente é direta, à medida que se elevou os valores de densidade do solo, em alguns casos, a condutividade hidráulica foi elevada. De maneira diferente aconteceu para a área experimental 2, onde observou-se que a proporcionalidade foi inversa. De acordo com os valores de coeficiente de correlação de Pearson obtidos, a correlação é classificada como moderada ( $0,50 < r < 0,90$ ) para a área experimental 1 e fraca ( $0,10 < r < 0,50$ ) para a área experimental 2. Os baixos valores de coeficiente de determinação afirmam a baixa dependência entre as variáveis analisadas.

Elevados valores de condutividade hidráulica encontrados onde ocorreram maiores valores de densidade do solo, pode ser explicado devido ao manejo do solo nas camadas superficiais, o que pode propiciar a formação de poros com diâmetros maiores que influenciam no aumento da condutividade hidráulica, sem influenciar muito na densidade do solo (Mesquita & Moraes, 2004). Ferreira (2008) também encontrou resultado semelhante a esta pesquisa, evidenciando a não correlação entre a densidade do solo e a condutividade hidráulica saturada.

#### 5.3.4 Porosidade total

Os mapas de distribuição espacial da porosidade total e da condutividade hidráulica do solo para nas duas áreas de estudo são mostradas na figura 44.



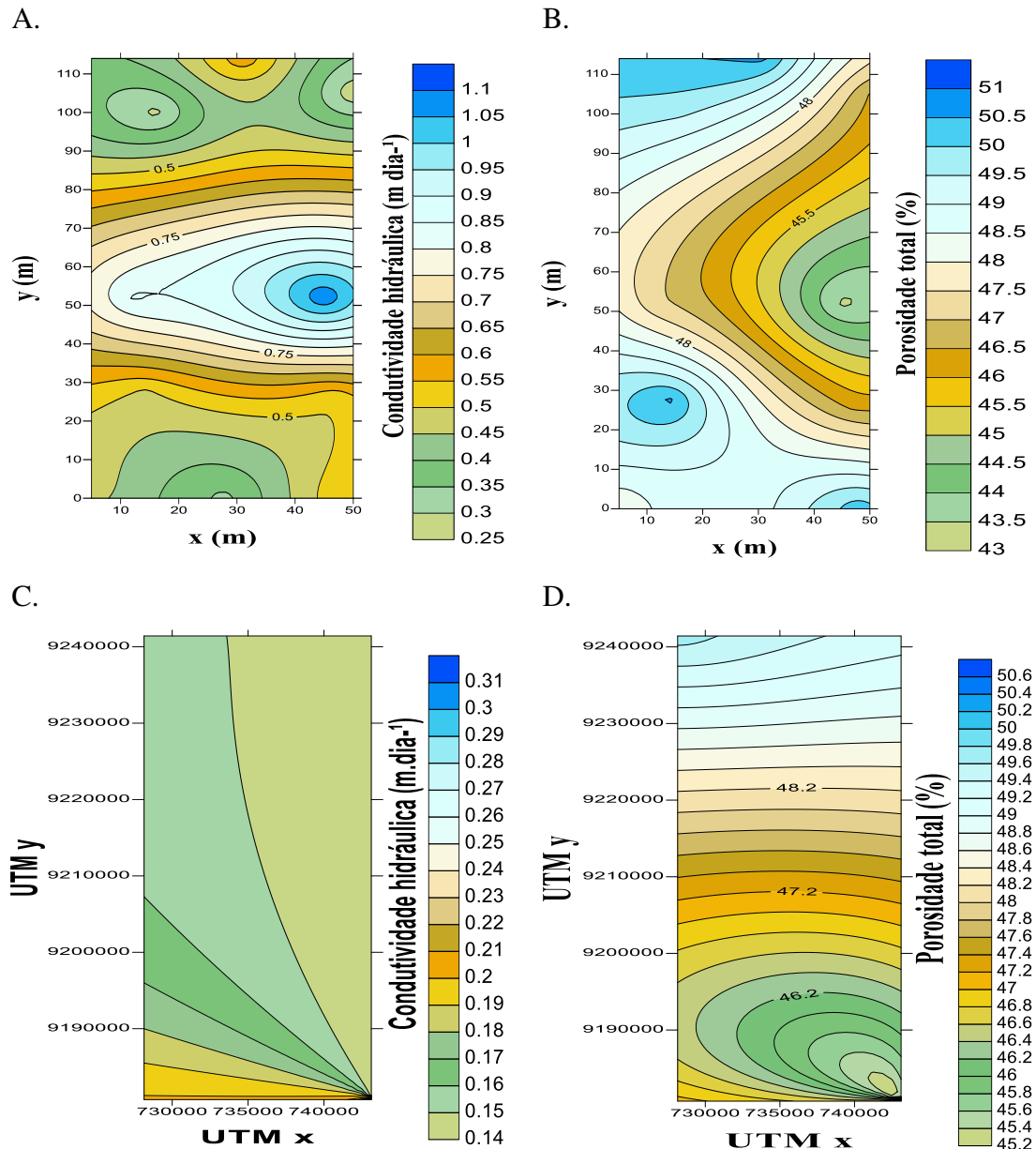


Figura 44. Mapas da condutividade hidráulica e da porosidade total do solo nas áreas experimentais 1 e 2.

A partir da análise qualitativa comparativa entre as escalas de cores, percebe-se não haver uma correlação existente, para as duas áreas, entre as porcentagens de porosidade total e os valores de condutividade hidráulica do solo de forma espacial. Para melhor ilustrar o comportamento da relação entre essas variáveis, é mostrado a seguir o diagrama de correlação entre  $K_0$  e PT, com os respectivos coeficientes de correlação de Pearson e de determinação (Figura 45).

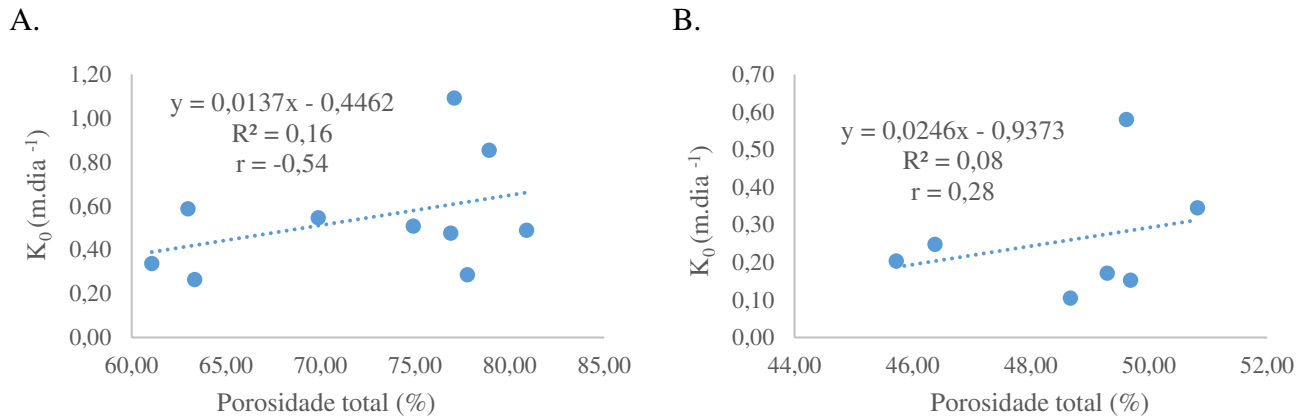


Figura 45. Correlação entre a porosidade total do solo e a condutividade hidráulica para as áreas experimentais 1 e 2.

De acordo com os valores de coeficiente de correlação de Pearson obtidos, a correlação entre a condutividade hidráulica e a porosidade total do solo é classificada como moderada para a área experimental 1, e fraca para a área experimental 2. Da mesma forma acontece com os coeficientes de determinação, apresentando valores muito baixos, indicando que a correlação linear não é a mais indicada para representar a correlação dessas duas variáveis analisadas.

Segundo Mesquita & Moraes (2004), como a condutividade hidráulica depende, em grande parte, da forma e continuidade dos poros, a mesma varia fortemente de um local a outro. Assim como, segundo o mesmo autor, outro fator importante que deve ser levado em consideração é com relação à metodologia de determinação de condutividade hidráulica a campo. A quantidade de ar aprisionado nos poros do solo, que interfere na  $K_0$ , será dependente da textura e estrutura do solo e conseqüentemente da natureza do espaço poroso. Em solos estruturados, possivelmente pouco ar aprisionado é contido nos macroporos que dominam a  $K_0$ .

A ausência de correlação também foi encontrada por Ferreira (2008), ao analisar separadamente as correlações entre a condutividade hidráulica e a porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo, sob três condições distintas de manejo do solo.

### 5.3.5 Porcentagem de sódio trocável

Os mapas de distribuição espacial da porcentagem de sódio trocável do solo e da condutividade hidráulica do solo, das duas áreas de estudo, são mostrados na figura 46.

A. B.

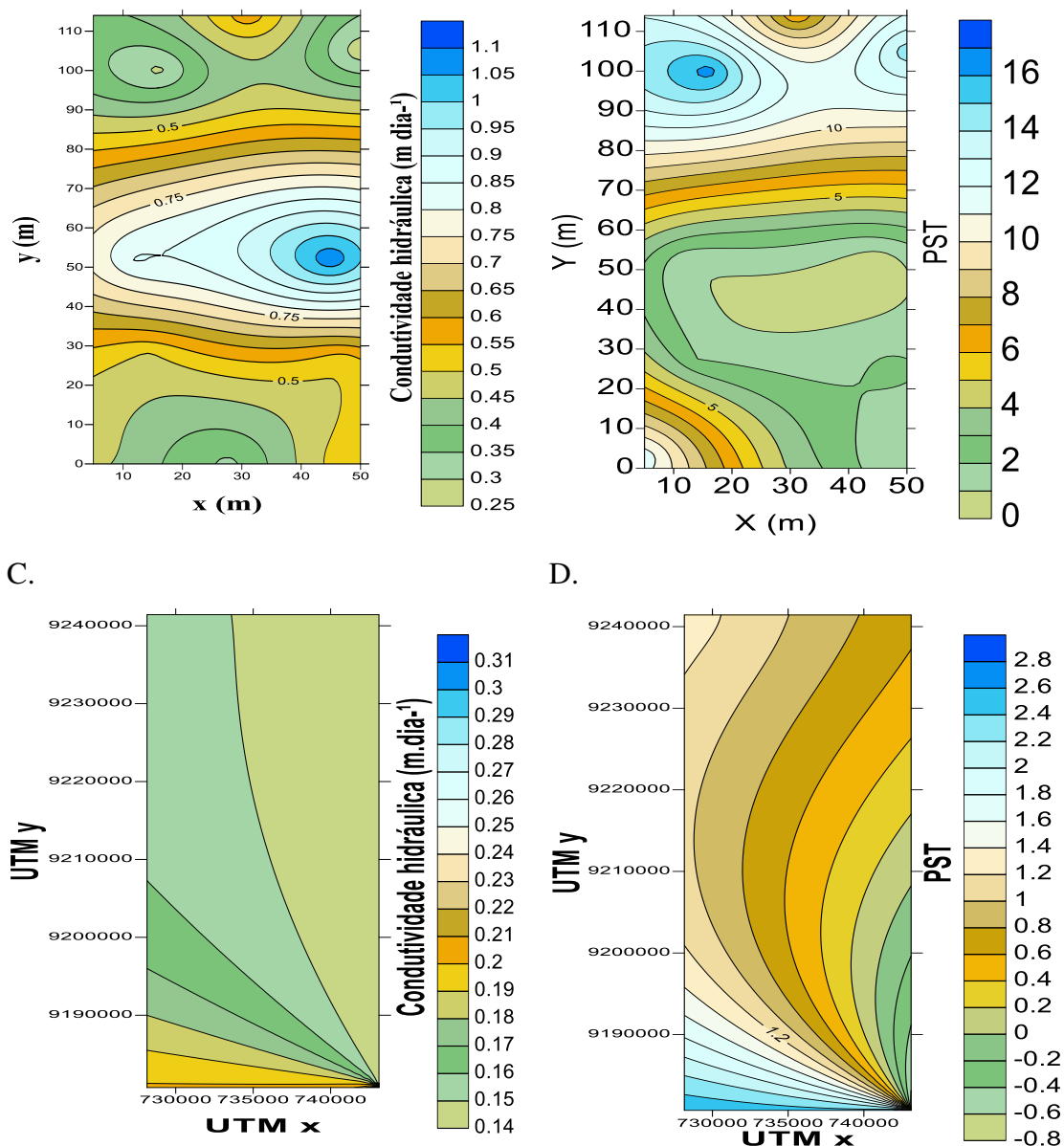
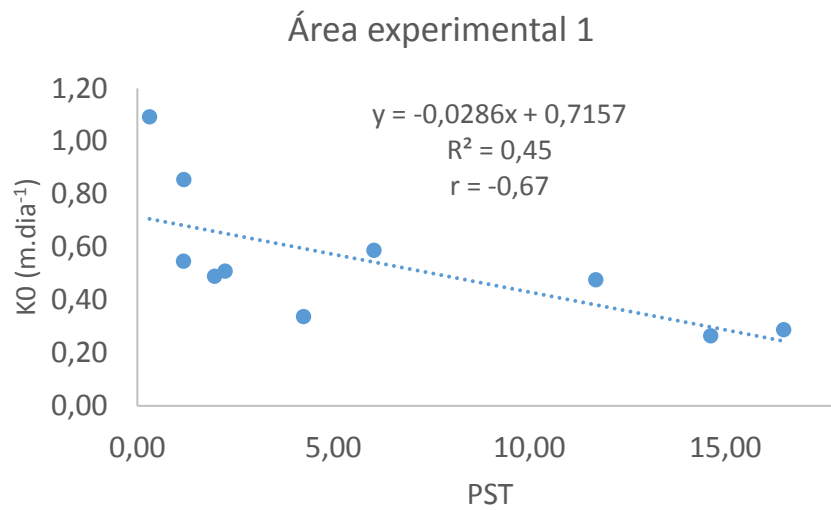


Figura 46. Mapas da condutividade hidráulica do solo e da porcentagem de sódio trocável nas áreas experimentais 1 e 2.

Analisando os mapas da figura 46.a e 46.b, observa-se que existe uma possível correlação entre a distribuição espacial dos valores de porcentagem de sódio trocável e a condutividade hidráulica, de forma que é visto em alguns casos o decréscimo da condutividade hidráulica com o aumento da porcentagem de sódio trocável. Este mesmo comportamento não foi observado para a área experimental 2. Para obter a melhor a confirmação destas tendências, são apresentados os diagramas de dispersão para a correlação entre a condutividade hidráulica do solo e a PST (Figura47).

A.



B.

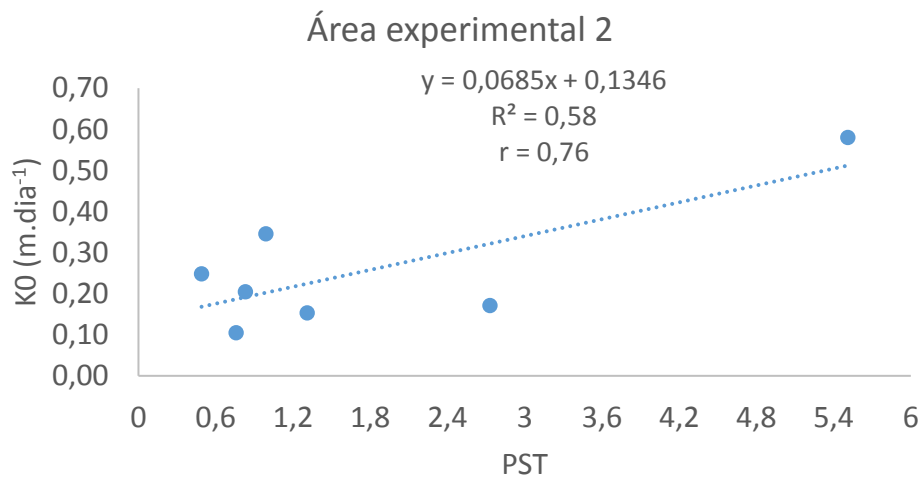


Figura 47. Correlação entre a porcentagem de sódio trocável do solo com a condutividade hidráulica para as áreas experimentais 1 e 2.

Analisando a figura 47.a, percebe-se a confirmação da tendência apresentada anteriormente através da análise qualitativa dos mapas de distribuição espacial. Com taxa de redução da condutividade hidráulica de 0,028 m.dia<sup>-1</sup> para cada incremento unitário de porcentagem de sódio trocável, percebe-se a correlação inversa entre essas variáveis, à medida que se eleva o valor da PST ocorre a diminuição da condutividade hidráulica na maioria dos casos. Diferentemente aconteceu para área experimental 2, devido aos baixos valores apresentados para a PST nesta área, tendo sido classificado o solo anteriormente como normal, a presença de um ponto destoante dos demais pode ter provocado este comportamento. Quanto

aos valores de coeficiente de Pearson, para as duas áreas foram classificados como moderado, enquanto que os coeficientes de determinação são considerados baixos.

A de se considerar que cada ponto amostral utilizado para a caracterização de salinidade do solo, das duas áreas de estudo, foi composto por frações de solo das quatro camadas investigadas nesta pesquisa (0-30; 30-60; 60-90 e 90-120 cm) o que pode, de certa forma, fazer com que a representatividade de possíveis camadas individuais mais afetadas por sais seja ocultada por outras com menores valores. Porém, é de fundamental importância o conhecimento e monitoramento dos níveis de salinidade de qualquer área utilizada para a agricultura na região semiárida.

Na área experimental 1, a região em destaque com maiores valores de PST (Figura 46.b) que conseqüentemente indicaram menores valores de condutividade hidráulica, coincidem com a região onde está instalado o sistema de irrigação localizada por micro aspersão, o que pode explicar essa maior presença de salinidade devido ao maior volume de água aplicado por esse sistema, bem como pela maior porcentagem de área que é molhada pelo mesmo, em relação às demais regiões da área em que é utilizado o sistema por gotejamento.

Segundo Pedrotti (2015), quanto maior a concentração de sódio no solo (PST) e mais baixa for a concentração de eletrólitos ( $CE_{es}$ ), maior será a dispersão das argilas e mais elevada será a viscosidade da água, fatores que juntos contribuem infinitamente para redução da condutividade hidráulica e permeabilidade do solo. Geralmente, essas alterações na estrutura dos solos ocorrem quando a PST é superior a 15% (RICHARDS, 1954), valor encontrado nesta pesquisa.

#### **5.4 Monitoramento do lençol freático**

Durante o período de estudo não foi observado a ascensão do lençol freático em nenhum dos pontos de observação, das duas áreas de estudo, isto ocorreu provavelmente devido aos baixos índices pluviométricos registrados nas regiões de estudo. Conforme os dados pluviométricos das estações climatológicas de Santa Luzia e São José dos Cordeiros, fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA, observou-se precipitação mensais para o ano de 2016 e os dados médios mensais de climatologia esperados para ambos municípios.

No município de Santa Luzia (Figura 48), observou-se um volume anual acumulado de precipitação de 404,1 mm que implicou em um desvio de 21,8 % menor que o valor da climatologia esperada para o município (516,7 mm). Os maiores valores de precipitação estão

distribuídos nos cinco primeiros meses do ano, caracterizando o período chuvoso da região. Ao longo do ano, com a exceção do mês de janeiro, observou-se precipitações mensais abaixo da climatologia esperada (AESAs, 2016).

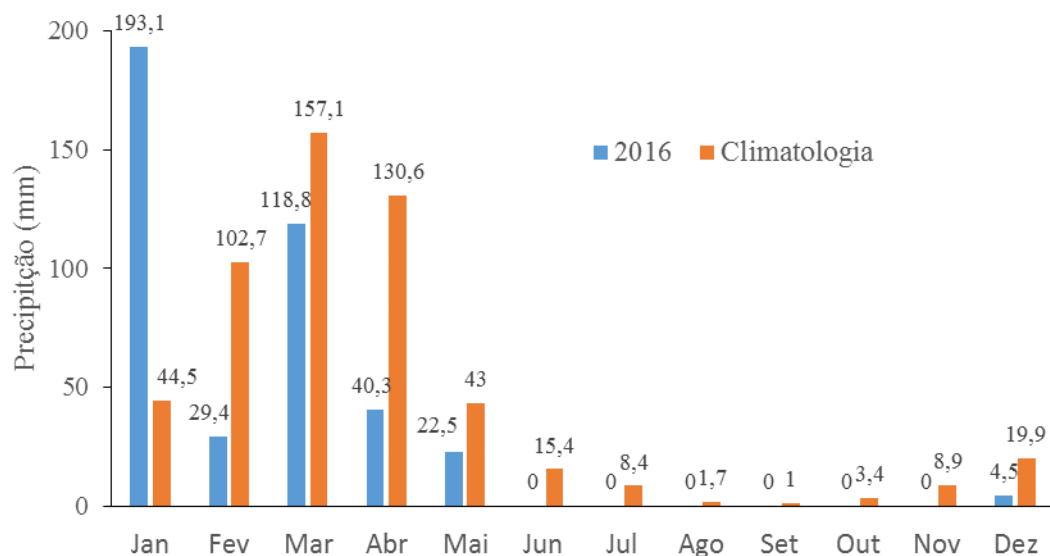


Figura 48. Precipitação média mensal no ano de 2016 e valores médios mensais de climatologia para o município de Santa Luzia – PB.

O volume de precipitação acumulado anual para o município de São José dos Cordeiros foi de 363,9 mm, apresentando um desvio de 32,5 % abaixo do esperado segundo a climatologia para este município (539,3 mm). O período chuvoso está concentrado entre os meses de janeiro e maio (Figura 49). Semelhante ao ocorrido para o município de Santa Luzia, observou-se apenas no mês de janeiro uma precipitação superior ao esperado pela climatologia para o determinado mês na região (AESAs, 2016).

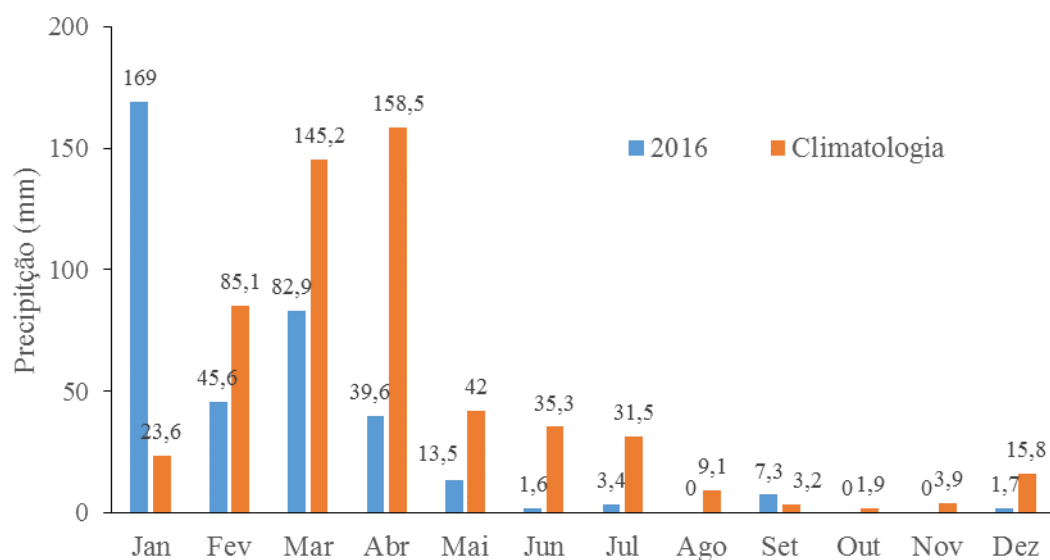


Figura 49. Precipitação média mensal no ano de 2016 e valores médios mensais de climatologia para o município de São José dos Cordeiros – PB.

## 6. CONCLUSÕES

As propriedades físicas do solo analisadas neste trabalho, de modo geral, apresentaram considerável variabilidade, na maior parte dos dados, sendo observados a não distribuição normal dos dados coletados, indicando que os valores médios não são os mais indicados como forma de representação da área.

Os níveis de salinidade apresentados na área sob cultivo da palma forrageira irrigada, indicados pelos valores de CEes, PST e pH, evidenciaram em classes de salinidade ligeira e forte em 50% das amostras analisadas, sendo indicado o acompanhamento destes parâmetros ao longo do tempo e a adoção de medidas de manejo para minimizar os danos, ressaltando a necessidade de instalação de um sistema de drenagem na área.

Na área de estudo a condutividade hidráulica saturada do solo variou de 0,26 a 1,09 m.dia<sup>-1</sup> e de 0,10 a 0,58 m.dia<sup>-1</sup>, respectivamente nas áreas experimentais 1 e 2 e a porosidade drenável variou de 34,04 a 41,31 e de 27,72 a 42,46 %, nas áreas experimentais 1 e 2 respectivamente. Pelos limites do coeficiente de variação proposto por Gomes (2000), K<sub>0</sub> apresentou variabilidade muito alta nas duas áreas, enquanto que a  $\mu$  obteve baixa e média variabilidade.

A condutividade hidráulica saturada do solo não apresentou ou apresentou uma baixa correlação com as propriedades do solo (frações granulométricas, densidade do solo, porosidade total e Porcentagem de sódio trocável). Isso foi verificado pela análise de mapas de distribuição espacial gráficos de dispersão, além dos baixos valores de coeficiente de correlação de Pearson (r) e de determinação (R<sup>2</sup>). A ausência de correlação está associada à alta variabilidade da condutividade e à baixa amplitude de variação das demais propriedades do solo

Durante o período de estudo não foi observado a ascensão do lençol freático em nenhum dos pontos de observação, isto ocorreu provavelmente devido aos baixos índices pluviométricos registrados na região, com médias anuais 21,8 e 32,5 % abaixo das séries históricas esperadas para os municípios de Santa luzia – PB (área experimental 1) e São José dos Cordeiros – PB (área experimental 2), respectivamente.

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo e a construção de mapas destes atributos contribui com as decisões agrícolas e com o melhor aproveitamento dos recursos água e solo. Isto possibilita fazer o cruzamento de informações como mapas de atributos físicos do solo, hidrodinâmicos, atributos químicos, características das culturas, sistema de manejo, climatologia, entre outras características, que darão o suporte necessário a tomada de decisão correta.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. **Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco arenoso sob plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.28, p.519-531, 2004.

AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA: **Dados pluviométricos**. Meteorologia/Chuvas. Disponível em: <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/medicaoPluviometrica.do?metodo=chuvasDiariasMapa> (acesso em dezembro de 2016).

AMARAL JÚNIOR, V. P. do; BARRETO, H. B. F.; MIRANDA, N. de O.; MEDEIROS, J. F. de; LIMA, A. S.: **Parâmetros da equação de Van Genuchten e índices de solo sob lâminas crescentes de irrigação com água salina**. ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido, v.8, n.4, p 60-65, out – dez, 2012.

BARRETO, N. B.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, L. E. **Irrigação edrenagem na empresa agrícola - impacto ambiental versus sustentabilidade**. Aracaju: Embrapa, 2004.

BATISTA, M. DE J.; NOVAES, F. DE; SANTOS, D. GARCIA DOS et al.: **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. 2ª ed., revisada e ampliada. Brasília: CODEVASF, 2002.

BELTRÁN, J. M. **Drenaje agrícola**. Madrid: Ministerio da Agricultura, Pesca y Alimentacion, 1986.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Atualizada e ampliada, Viçosa-MG: UFV, 2009.



CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. **Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, n. 4, jul. / ago. 2003.

CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. Ed. UFV, Viçosa –MG, 2012.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.15, n.3, p.237-243, 2011.

COSTA, E. L. DA; COELHO, E. F.; SIMÃO, F. R.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, P. M.: **Irrigação da bananeira**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, vol. 29. n. 245, pg. 38-58, jul/ago de 2008.

CRUCIANI, D. E.: **A drenagem na agricultura**. São Paulo-SP, Nobel. 1940.

DALBIANCO, Leandro. **Variabilidade espacial e estimativa da condutividade hidráulica e caracterização físico-hídrica de uma microbacia hidrográfica rural** Dissertação de mestrado, Santa Maria, RS, Brasil 2009.

DIAS, N. da S.; BLANCO, F. F. **Efeitos dos sais no solo e na planta**. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicações. Fortaleza, INCT Sal, 2010.

DIAS, N. da S.; GHEYI, H. R.; DUARTE, S. N.: **Prevenção, manejo e recuperação dos solos afetados por sais**. Serie Didática n° 013. Piracicaba: ESALQ/USP/LER. 2003.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. **Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no Município de Lavras, MG**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, n.2, p.242246, 2002.

EMBRAPA, Centro nacional de pesquisa de solo. **Manual de métodos de análise de solo. 2 ed.** Rio de Janeiro: EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, 1997.

FEITOZA, M. Z. **Estimativa da porosidade drenável por diferentes metodologias. UFRP**, Pernambuco 2006.

FARIAS, M. S. S.: **Diagnóstico da Necessidade de Drenagem no Perímetro Irrigado de São Gonçalo**. Dissertação de Mestrado, UFPB, Campina Grande, PB, 1999.

FERNANDES, M. A.; VILAR, O. M.: **Medida da condutividade hidráulica em solo não saturado por meio do infiltrômetro de disco**. In: Anais VII Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, Pirenópolis, GO. vol. 1. 2011.

FERREIRA, S. T. **Avaliação da relação entre a condutividade hidráulica do solo saturado com parâmetros físicos de um latossolo vermelho distrófico submetido a dois diferentes manejos.** 101p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. 2008.

FREIRE, M. B. dos S. **Saturação por sódio e qualidade da água de irrigação na degradação de propriedades físicas de solos do Estado de Pernambuco.** Viçosa: UFV, 2001.

FREITAS, E.D. **Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto Astronômico e Geofísico.** Departamento de Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo (2005).

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados.** INCT Sal, Fortaleza, 2010.

GOMES F. P. **Curso de estatística experimental.** 14ª ed. Piracicaba, Degaspari. 477p., 2000.

GUEDES FILHO, O. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta.** 97p. Dissertação (Mestrado). Instituto Agronômico, Campinas, SP. 2009.

GUERRA, H. O. C.: **Física dos Solos.** Unidade Acadêmica de engenharia Agrícola. Centro de Tecnologia de Engenharia Agrícola e Recursos Naturais CTRN-UFMG. 175p. Campina Grande-PB, 2000.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Água e Solo, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169 – 177, may / apr. 2005.

HURTADO, A. L. B.; CICHOTA, R.; LIER, Q. DE J. V.: **Parametrização do método do perfil instantâneo para a determinação da condutividade hidráulica do solo em experimentos com evaporação.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, vol. 29 nº 2 viçosa mar/apr de 2005.

JACOMINE, P. K. T. **A nova classificação brasileira de solos.** Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, vols. 5 e 6, p.169, 2008-2009.

JÚNIOR, B. C. L. **Diagnóstico da necessidade de drenagem em solo cultivado com fruticultura irrigada com água poluída.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. UFMG/CTRN. Campina Grande, PB, 2013.

JURY, W.A. et al. **Soil physics**. New York: John Wiley & Sons, 1991.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. **Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, p. 857 – 867, 2002.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. São Paulo: EDUSP, 2005.

LIMA, L. A.; GRISMER, M. E.; NIELSEN, D. R. **Salinity Effects on Yolo Loam Hydraulic Properties**. Soil Science, v.150. 1990.

LIMA, V. L. A., FARIAS, M. S. S.; BORGES JUNIOR, J, C. F.: **Drenagem agrícola no manejo dos solos afetados por sais**. In: GHEYI, H. R., DIAS, N. S., LACERDA, C. F.; Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicações. Fortaleza, INCT Sal, 2010.

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F. do; ARAÚJO FILHO, J. C. do; SILVA, A. B, da. **Solos do nordeste**. Embrapa solos, Recife, 2014.

MASCARENHAS, J. C.; BELTRÃO, B. A.; JUNIOR, L. C. S.; MORAIS, F.; MENDES, V. A.; MIRANDA, J. L. F. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de São José dos Cordeiros**, estado da Paraíba Recife: CPRM/PRODEEM, 2005a.

MASCARENHAS, J. C.; BELTRÃO, B. A.; JUNIOR, L. C. S.; MORAIS, F.; MENDES, V. A.; MIRANDA, J. L. F. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Santa Luzia**, estado da Paraíba Recife: CPRM/PRODEEM, 2005b.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O.; CORRENTE, J. E. **Caracterização estatística de variáveis físicas do solo**. Acta Scientiarum: Agronomy, Maringá, v.25, n.1, p.35-44, 2003.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo**. Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.3, p. 963-969, 2004.

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. São Paulo, Editerra Editora Ltda. 1988.

MIRANDA, G. Antônio de. **Mensuração e Avaliação do Assoreamento do Açude de Santa Luzia, PB** (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola). UFCG/CTRN, 2007.

PADRÓN, R. A. R.; NOGUEIRA, H. M. C. M.; CERQUERA, R. R.; ALBINO, G. D.; NOGUEIRA, C. U. **Caracterização físico-hídrica do solo argissolo amarelo para estabelecimento de projeto e manejo da irrigação**. Acta Iguazu, Cascavel, v.4, n.1, p. 36-47, 2015.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. **Causas e conseqüências do processo de salinização dos solos**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria, v. 19, n. 2, mai-ago., p. 1308-1324, 2015.

PIZARRO, F.: **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Ed. Agrícola Española. Caballero de Gracia, S.A. Madrid, 1978.

QUEIROZ, J. E.: **Um Novo Método De Cálculo Da Porosidade Drenável**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, vol. I, pg. 117-119, 1997.

QUEIROZ, J. E.; CRUCIANI, D. E.; LIBARDI, P. L.: **Variabilidade espacial da porosidade drenável de um solo de várzea, no município de Piracicaba, estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, vol.3, nº 2, pg. 135-139, 1999.

REICHARDT, K. **Dinâmica da Matéria e da Energia em Ecossistemas**. 2. ed. São Paulo: USP / ESALQ, 1996.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos Processos e Aplicações. São Paulo: Manole, 2004.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Centro de Ciências Rurais Universidades de Santa Maria, p.10, 2006.

RIBEIRO, M. R. **Origem e classificação dos solos afetados por sais**. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicações. Fortaleza, INCT Sal, 2010.

RICHARDS, L. A. (ed): **Diagnosis and Improvement of saline end alkali soils**. Washington D. C.: United States Salinity Laboratory Staff. 166 pg., USDA. Agriculture Handbook nº 60, Issued February **1954**.

RITZEMA, H. P. **Drainage Principles and Applications**. The Netherlands, 1994.

SABBAGH, G. J.; FOUSS, J. L.; BERGSTON, R. L. **Comparison of EPICWT and DRAINMOD simulated performance of land drainage systems**. Transactionsofthe ASAE, St. Joseph, v. 36, n. 1, p.73-79, 1993.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. **Variabilidade espacial de atributos de solo e de Crotalaria juncea L. em área severamente erodida**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, p. 115 – 122, 1998.

SANTOS, K. S. **Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2011.

SANTOS, M. A. **Recuperação de solo salino-sódico por fitorremediação com *Atriplex nummularia* ou aplicação de gesso**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, 89f. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo, 2012.

SCHERPINSKI, N. I. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos e do rendimento de grãos de soja em um latossolo vermelho sob sistema de plantio direto e convencional**. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2003.

SILVA, E. F.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; SOUSA, J. I. G. **Efeito da qualidade da água de irrigação sobre atributos hídricos de um Neossolo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.29, p.389-396, 2005.

**A irrigação e a relação solo-planta-atmosfera**. Ed. Tecnologia fácil,

SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREDO, C. A. P.; MARQUES JUNIOR, J.; MACHADO, R. V. **Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café**. Ciência Rural, Santa Maria, v.37. n.2, 2007.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. **Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande, v.7, n.1, p.18-23, 2003.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. **Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.25, p.699–707. 2001.

SOUZA, F. G. et. al. **Hidrodinâmica do solo em uma área destinada à agricultura familiar no cariri paraibano**. Revista Verde (Mossoró – RN - BRASIL), v. 9, n.1, p.13 -17, jan-mar, 2014.

SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. 174 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1992.

SOUZA, E. R., Freire, M. B. G. S., Cunha, P. V., Nascimento, C. W. A., Ruiz, H. A., Lins, C. M. T. **Biomass anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress**. Environmental and Experimental Botany, 82: 20-27, 2012.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

**VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). Bragantia, Campinas, v. 56, n. 1, 1997.**