UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar

Dissertação

Aspectos de segurança hídrica em sistemas familiares de produção de morango sob irrigação em Turuçu-RS

Rosiméri da Silva Fraga

Pelotas, 2011.

ROSIMÉRI DA SILVA FRAGA

ASPECTOS DE SEGURANÇA HÍDRICA EM SISTEMAS FAMILIARES DE PRODUÇÃO DE MORANGO SOB IRRIGAÇÃO EM TURUÇU-RS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências .

Orientador: Professor Dr. Luís Carlos Timm

Co-orientadores: Professor Dr. Vitor Emanuel Q. Tavares
Professor Dr. Alfredo Luís Mendes D'Ávila

Pelotas, 2011.

Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

F811a Fraga, Rosiméri da Silva

Aspectos de segurança hídrica em sistemas familiares de produção de morango sob irrigação em Turuçu-RS / Rosiméri da Silva Fraga ; orientador Luís Carlos Timm; co-orientadores Vitor Emanuel Quevedo Tavares e Alfredo Luís D'Ávila Mendes - Pelotas,2011.-195f. :;il..- Dissertação (Mestrado) –Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel . Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2011.

1.Fragaria x ananassa 2.Pequenas barragens de terra 3.Manejo de irrigação 4.Qualidade de água I.Timm, Luís Carlos(orientador) II. Título.

CDD 634.75

Banca examinadora:

Prof. Dr. Luís Carlos Timm (Orientador)
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” - UFPel

Prof. Dr. Jocelito Saccol de Sá
Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense

Dr. Adilson Luís Bamberg
Pesquisador Visitante do Projeto Xisto Agrícola, convênio Fapeg - Embrapa - Petrobras. Embrapa Clima Temperado

AGRADECIMENTOS

À Deus que me iluminou e possibilitou minha chegada até aqui.

Agradeço imensamente ao meu orientador professor Dr.Luís Carlos Timm por ter possibilitado a realização deste trabalho, confiado no meu potencial desde o começo e principalmente pela amizade gerada no decorrer do mestrado.

Ao co-orientador professor Dr. Alfredo Luís Mendes D'Ávila pela orientação durante a realização dos ensaios em laboratórios no decorrer do trabalho.

Ao co-orientador professor Dr. Vitor Emanuel Quevedo Tavares pela orientação em todas as etapas deste trabalho.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o curso de Mestrado, sobretudo agradeço aos funcionários, professores, colegas e amigos que fazem parte do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar.

Aos meus colegas do Curso Técnico em Edificações do IFSul, pelo carinho e apoio.

À amiga Shirley G. Nascimento Altemburg, pelo incentivo para a realização desta etapa, sem ela nada teria começado.

À amiga Viviane Terra, pelo apoio durante a realização da dissertação, pelo carinho e pela certeza de poder contar sempre.

Aos colegas e amigos Gláucia Islabão, Leandro Aquino, Adilson Bamberg e Plínio Corral pela amizade e ajuda nas horas que solicitei.

À minha filha Agatha, pela compreensão nos momentos em que não pude acompanhá-la.

À minha mãe Nair por todo apoio e ajuda durante esta etapa da minha vida.

Ao Paulo Ricardo Alcântara Goulart, por ter participado de todos os momentos bons e difíceis, pelo apoio, incentivo, ajuda e paciência.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Resumo

FRAGA, Rosiméri da Silva. **Aspectos de segurança hídrica em sistemas familiares de produção de morango sob irrigação em Turuçu- RS.** 2011. 194p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - Brasil.

O cultivo do morangueiro tem sido destaque em sistemas familiares de produção em Turuçu-RS, sendo produzido e comercializado “in natura” e de forma processada, propiciando aos produtores geração de emprego, renda e inclusão social. O sistema de produção de morango, de forma geral, é caracterizado pela utilização de cobertura do solo com plástico de coloração preta, pela utilização de túneis baixos e pelo sistema de irrigação por gotejamento com aplicação de fertilizantes via água de irrigação (fertirrigação). A importância e os benefícios do uso da técnica de irrigação na cultura do morango vêm sendo constatados pelos agricultores, já que tem influenciado na melhoria da qualidade do produto “in natura”. Entretanto, em virtude das lavouras de morango localizarem-se na sua maior parte distantes de grandes mananciais, muitos agricultores necessitam construir barramentos para represar a água de forma eficiente, garantir o êxito da irrigação das lavouras, e também para assegurar a quantidade e a qualidade de água para estas atividades. Baseado nisto, este trabalho teve como objetivos avaliar: i. o comportamento espacial e temporal, na camada de 0-200 mm, de parâmetros físico-hídricos do solo (capacidade de água disponível e armazenamento de água) relacionados ao manejo de irrigação adotado em 12 lavouras de morango; ii. as características geotécnicas e de segurança de duas pequenas barragens de terra que armazenam água para a irrigação de morango e outras culturas; e iii. a existência de correlação entre oito parâmetros de qualidade da água com os diferentes tipos de mananciais usados como fonte de captação na irrigação do morango, com as micro-regiões em que se localizam e com a precipitação antecedente, referentes a 14 propriedades rurais de Turuçu-RS. Gráficos em caixa foram construídos para representar o comportamento espacial e temporal da capacidade de água disponível, do armazenamento de água no solo a

partir dos dados coletados nas lavouras e de dados de tensiômetros instalados na profundidade de 200 mm em cada uma das 12 lavouras no ano de 2007. Foram realizadas as seguintes atividades em duas pequenas barragens de terra agrícolas: estudos de geometria do aterro, execução de ensaios geotécnicos, avaliação das condições de segurança e o cálculo da vazão de projeto bem como de dimensionamento de vertedouro. Ferramentas da estatística multivariada e utilização da correlação de Pearson foram aplicadas aos dados de análises da água coletados nos anos de 2007 e 2008 para identificar a existência de correlação entre oito parâmetros de qualidade da água (alcalinidade, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, sólidos totais e turbidez) com os diferentes tipos de mananciais usados como fonte de captação na irrigação do morango, com as micro-regiões em que se localizam e com a precipitação antecedente, referentes a 14 propriedades rurais de Turuçu-RS. Conclui-se que: i. não houve um padrão de comportamento espacial e temporal dos valores de capacidade de água disponível e de armazenamento de água no solo para os meses de setembro e dezembro de 2007 avaliados; ii. o processo erosivo no talude a montante observado nos maciços de terra constitui um problema, pois os sedimentos assoreados podem prejudicar a qualidade da água de irrigação e existe subdimensionamento dos vertedouros quanto a vazão máxima referente à área de drenagem; e iii. houve correlação forte somente entre o parâmetro turbidez de qualidade de água usada na irrigação e a precipitação antecedente em algumas propriedades.

Palavras-chave: *Fragaria x ananassa*, pequenas barragens de terra, manejo de irrigação, qualidade da água.

Abstract

FRAGA, Rosiméri da Silva. **Aspects of water security in family production systems of strawberry under irrigation in Turuçu-RS(Brazil).** 2011. 194p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - Brasil.

The strawberry cultivation has been among the main features in family production systems in Turuçu-RS (Brazil), being produced and sold both fresh as well as in the processed form, allowing to the farmers employment generation, income and social inclusion. The strawberry production system, in general, is characterized by the use of soil cover with black color plastic, the use of low tunnels and drip irrigation systems with the fertilizer application through irrigation water (fertigation). The importance and benefits of irrigation for strawberry production have been found by farmers, as it has allowed the improvement of fresh fruits quality. However, as strawberry fields were mostly located far from major water sources, many farmers need to build dams to impound water efficiently, to assure the success of the irrigation for crops, and also to ensure the quality and quantity of water for these activities. Based on this, this study aimed to evaluate: i. spatial and temporal behavior of physical and hydraulic properties of soils in the 0-200 mm layer (available water capacity and water storage) related to irrigation management adopted in 12 crops of strawberry, ii. geotechnical and safety characteristics of two small earth dams used to store water for irrigation of strawberries and other crops, and iii. the existence of correlation between eight water quality parameters with: different types of water sources used for strawberry irrigation; with the micro-regions where they are located; and with the preceding precipitation, referring to 14 rural properties in Turuçu –RS (Brazil). Box-plot charts were built to study the spatial and temporal behavior of the available water capacity and of the soil water storage based on the data collected by Bamberg (2010) and on data resulting from the installation of tensiometers at 200 mm depth in the 12 fields. The following activities were conducted in two rural small dams: studies of the embankment geometry, execution of geotechnical tests, assessment of security conditions and the estimative of the project design flood and design of the spillway.

Multivariate statistical tools and Pearson correlation analysis were applied to data collected from 2007 to 2008 to identify the existence of correlation between eight water quality parameters (alkalinity, electrical conductivity, biochemical oxygen demand, dissolved oxygen, suspended solids, dissolved solids, total solids and turbidity) with the different types of water sources used for the strawberry irrigation, with the micro-regions where they are located and with the preceding precipitation, referring to 14 rural properties Turuçu-RS. We found that: i. there was not a similar pattern of spatial and temporal behavior for the values of available water capacity and water storage in the soil for the evaluated months, ii. the soil erosion on the upstream slope observed in the embankments is a major problem, since the sediments produced may impair the quality of irrigation water and there is a undersizing of the spillways considering the maximum discharge on the drainage area, and iii. There was strong correlation just between turbidity of the water used in irrigation and the preceding precipitation in some fields.

Keywords: *Fragaria x ananassa,* small dams, irrigation management, water quality.

Lista de Figuras

Figura 1 Representação esquemática de um tensiômetro..... 25

Figura 2 Diagrama dos parâmetros de umidade no solo e representação da capacidade de água disponível no solo (CAD)..... 27

Figura 3 Irrigação por gotejamento..... 31

Figura 4 Elementos constitutivos de uma barragem de terra..... 33

Figura 5 Representação esquemática da seção transversal de uma barragem de terra……..... 33

Figura 6 Exemplo de instabilidade em um talude de maciço de terra..... 35

Figura 7 Retroerosão na barragem Santa Bárbara (Pelotas-RS)..... 36

Figura 8 Proteção de talude a montante..... 36

Figura 9 Posição de filtro vertical e horizontal em uma barragem de terra..... 37

Figura 10 Processo erosivo em margens de reservatórios (talude a montante)…… 39

Figura 11 Seção transversal do talude na evolução do processo erosivo..... 39

Figura 12 Construção de barragem com uso de *scraper*..... 43

Figura 13 Localização do município de Turuçu: a) Turuçu no mapa do Rio Grande do Sul; b) mapa do município de Turuçu..... 56

Figura 14 Hidrografia do município de Turuçu-RS..... 57

Figura 15 Ilustração das três zonas diferenciadas em função da sequência geomorfológica do município de Turuçu-RS..... 59

Figura 16 Mapa dos diferentes tipos de solos encontrados no município de Turuçu-RS..... 60

Figura 17 Localização das 15 lavouras de produção de morango no município de Turuçu-RS, Brasil..... 63

Figura 18 Canteiros com morangueiros em Turuçu-RS: a) túneis baixos de plástico utilizados na lavoura de morango; b) canteiros cobertos

com lona preta..... 69
Figura 19 Curvas de retenção de água no solo, faixa de 0-200 mm de profundidade, para os meses de setembro e dezembro de 2007 nas lavouras das propriedades P1, P2, P4, P5, P6 e P7. P1: lavoura 1, e assim por diante..... 73
Figura 20 Curvas de retenção de água no solo, faixa de 0-200 mm de profundidade, para os meses de setembro e dezembro de 2007 nas lavouras das propriedades P8, P9, P11, P12, P13 e P15. P8: lavoura 8, e assim por diante..... 74
Figura 21 Tensiômetros instalados em canteiros de produção de morango.... 76
Figura 22 Ilustração de um gráfico em caixa (*box plot*), sendo Q_3= terceiro quartil, Md= mediana do conjunto de dados e Q_1= primeiro quartil.. 77
Figura 23 Gráfico em caixa dos valores de CAD apresentados na tab. 7..... 80
Figura 24 Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes à saturação do solo (h_s), à capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 24a) e dezembro (Fig. 24b) de 2007, na lavoura P1, faixa de 0-200 mm de profundidade..... 81
Figura 25 Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes à saturação do solo (h_S), à capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 25a) e dezembro (Fig. 25b) de 2007, na lavoura P2, faixa de 0-200 mm de profundidade..... 83
Figura 26 Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes à saturação do solo (h_s), à capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 26a) e dezembro (Fig. 26b) de 2007, na lavoura P4, faixa de 0-200 mm de

profundidade..... 85

Figura 27 Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes à saturação do solo (h_S), à capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 27a) e dezembro (Fig. 27b) de 2007, na lavoura P5, faixa de 0-200 mm de profundidade..... 87

Figura 28 Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes à saturação do solo (h_S), à capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 28a) e dezembro (Fig. 28b) de 2007, na lavoura P6, faixa de 0-200 mm de profundidade..... 89

Figura 29 Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes à saturação do solo (h_S), à capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 29a) e dezembro (Fig. 29b) de 2007, na lavoura P7, faixa de 0-200 mm de profundidade..... 91

Figura 30 Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes à saturação do solo (h_S), à capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 30a) e dezembro (Fig. 30b) de 2007, na lavoura P8, faixa de 0-200 mm de profundidade..... 93

Figura 31 Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes à saturação do solo (h_S), à capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente

(h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 31a) e dezembro (Fig. 31b) de 2007, na lavoura P9, faixa de 0-200 mm de profundidade..... 95

Figura 32 Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes à saturação do solo (h_S), à capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 32a) e dezembro (Fig. 32b) de 2007, na lavoura P11, faixa de 0-200 mm de profundidade..... 97

Figura 33 Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes à saturação do solo (h_S), à capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 33a) e dezembro (Fig. 33b) de 2007, na lavoura P12, faixa de 0-200 mm de profundidade..... 99

Figura 34 Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes à saturação do solo (h_S), à capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 34a) e dezembro (Fig. 34b) de 2007, na lavoura P13, faixa de 0-200 mm de profundidade..... 101

Figura 35 Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes à saturação do solo (h_S), à capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 35a) e dezembro (Fig. 35b) de 2007, na lavoura P15, faixa de 0-200 mm de profundidade..... 103

Figura 36 Valores de microporosidade do solo em função do armazenamento de água referente a capacidade de campo em 12

lavouras de morango localizadas em Turuçu-RS..... 105
Figura 37 Relação entre a diferença dos valores de armazenamento referentes à saturação e à capacidade de campo $\Delta(h_S - h_{CC})$ em função da macroporosidade do solo em 12 lavouras de morango localizadas em Turuçu-RS..... 106
Figura 38 Distribuição espacial e temporal do armazenamento diário de água no solo em cada uma das 12 lavouras de morango para o mês de setembro de 2007..... 107
Figura 39 Distribuição espacial e temporal do armazenamento diário de água no solo, em 10 lavouras de morango de Turuçu-RS, ao longo do mês de dezembro de 2007..... 108
Figura 40 PBTA na propriedade P12..... 112
Figura 41 PBTA na propriedade P13..... 112
Figura 42 Croqui da geometria da seção transversal do maciço de terra da propriedade P12..... 113
Figura 43 Croqui da geometria da seção transversal do maciço de terra da propriedade P13..... 114
Figura 44 Seção transversal do maciço de terra com a indicação dos pontos de coleta..... 115
Figura 45 Coleta de amostras de solo nos maciços: a) trado utilizado; b) retirada de amostra de solo..... 115
Figura 46 Etapas do peneiramento: a) destorroar o solo; b) colocar o solo na peneira nº 200; c) resultado do peneiramento..... 116
Figura 47 Etapas de preparação do solo para fazer as pastilhas: a) umedecer o solo que passou na peneira nº 200; b) pasta de solo; c) uso do penetrômetro na pasta de solo..... 117
Figura 48 Moldagem das pastilhas: a) acessórios para moldagem; b) execução da moldagem das pastilhas; c) pastilhas já moldadas..... 117
Figura 49 Etapas para a medição da contração diametral das pastilhas: a) pastilhas na estufa; b) medição das pastilhas com paquímetro; c) pastilha com a planilha de dados..... 118
Figura 50 Pastilhas nas placas porosas: a) placas porosas; b) placas porosas com papel filtro e as pastilhas; c) placas porosas com as

pastilhas e uso do penetrômetro sobre as pastilhas..... 118
Figura 51 Etapas de moldagem das esferas: a) peneirar uma amostra de solo na peneira nº10; b) umedecer o solo que passou na peneira; c) moldagem das esferas com o solo úmido..... 119
Figura 52 Verificação da resistência da esfera: a) tentativa de quebrar a esfera com os dedos; b) tentativa de quebrar a esfera apoiada em plano liso e duro; c) tentativa de quebrar a esfera exercendo uma força muito grande..... 119
Figura 53 Etapas iniciais para o ensaio de análise granulométrica: a) selecionar uma amostra de solo e pesar em uma balança de precisão (0,10 g) digital; b) colocar o solo em uma peneira n° 200; c) lavar o solo em água corrente; d) lavar o solo até que a água de lavagem fique límpida; e) solo lavado na peneira; e f) solo lavado em recipiente para levar à estufa. 120
Figura 54 Localização dos furos de sondagem - Propriedade P13..... 133
Figura 55 Localização dos furos de sondagem - Propriedade P12..... 133
Figura 56 Talude a jusante da barragem na propriedade P13..... 135
Figura 57 Talude a montante da barragem na propriedade P13..... 135
Figura 58 Vertedouro escavado na barragem da propriedade P13..... 136
Figura 59 Limites da bacia de drenagem da PBTA na propriedade P12 (levantamento topográfico em 2010)..... 137
Figura 60 Limites da bacia de drenagem da PBTA na propriedade P13 (levantamento topográfico em 2010)..... 138
Figura 61 Vertedouro na barragem da propriedade P12..... 139
Figura 62 Posição da tubulação usada como extravasor na barragem P12 a) tubulação (diâmetro de 75 mm) próximo ao açude; e b) tubulação com saída de água para o campo..... 140
Figura 63 Vertedouro da barragem P13…….. 140
Figura 64 Fontes de captação de água para irrigação nas propriedades P1 (a), P2 (b), P3 (c) , P4 (d), P5 (e) e P6 (f)..... 147
Figura 65 Fontes de captação de água para irrigação nas propriedades P7 (g), P8 (h), P9 (i), P10(j), P11 (k) e P12 (l)..... 148

Figura 66 Fontes de captação de água para irrigação nas propriedades P13 (m) e P15 (n)..... 149
Figura 67 Pluviômetro instalado em uma propriedade rural em Turuçu-RS..... 152
Figura 68 Representação de oito variáveis relacionadas aos componentes principais 1 e 2..... 155
Figura 69 Representação das 14 propriedades pelos valores médios dos componentes principais 1 e 2..... 156
Figura 70 Representação das 14 propriedades pelos valores médios dos componentes principais 1 e 3..... 157
Figura 71 Correlação entre a alcalinidade na propriedade P4 com a precipitação acumulada em oito dias..... 159
Figura 72 Correlação entre a condutividade elétrica na propriedade P3 com a precipitação acumulada em sete dias..... 161
Figura 73 Correlação entre DBO e precipitação acumulada em 15 dias na propriedade P6..... 163
Figura 74 Correlação entre o oxigênio dissolvido e a precipitação acumulada em 11 dias na propriedade P1..... 165
Figura 75 Correlação entre os sólidos suspensos e precipitações acumuladas em 27 dias na propriedade P13..... 167
Figura 76 Correlação entre os sólidos dissolvidos e precipitações acumuladas em 18 dias na propriedade P9..... 169
Figura 77 Correlação entre os sólidos totais e precipitações acumuladas em 23 dias na propriedade P13..... 172
Figura 78 Correlação entre a turbidez e precipitações acumuladas em oito dias na propriedade P10..... 174

Lista de Tabelas

Tabela 1 Classificação das águas doces de acordo com os usos (Resolução n° 357 de 2005- CONAMA)…….……..…….. 45

Tabela 2 Alguns parâmetros químicos, físicos e microbiológicos da Resolução do CONAMA- n° 357 (2005)..... 47

Tabela 3 Normais climatológicas mensais do período 1971/2000 para a região de Pelotas-RS..... 58

Tabela 4 Coordenadas geográficas referentes à localização das propriedades distribuídas nas três micro-regiões e das fontes de captação de água utilizadas para irrigação..... 64

Tabela 5 Classificação do solo e respectiva classe textural, atributos físicos e hídricos do solo na camada de 0–200 mm em 12 lavouras de morango para os meses de setembro e dezembro de 2007..... 71

Tabela 6 Parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten (1980) usados para elaboração das curvas de retenção de água no solo nas 12 lavouras de morango referentes aos meses de setembro e dezembro de 2007..... 72

Tabela 7 Capacidade de água disponível no solo (CAD) em 12 lavouras de morango nos meses de setembro e dezembro de 2007 para uma faixa de profundidade de 0-200 mm..... 78

Tabela 8 Resultados dos ensaios na barragem da P13 (furos 1 e 2)..... 125

Tabela 9 Resultados dos ensaios na barragem da P13 (furos 3 e 4)..... 126

Tabela 10 Resultados dos ensaios na barragem da P13 (furos 5 e 6)..... 127

Tabela 11 Resultados dos ensaios na barragem da P12 (furos 1 e 2)..... 128

Tabela 12 Resultados dos ensaios na barragem da P12 (furos 3 e 4)..... 129

Tabela 13 Resultados dos ensaios na barragem da P12 (furos 5 e 6)..... 130

Tabela 14 Resultados dos ensaios na barragem da P12 (furo 7)..... 131

Tabela 15 Resultado dos ensaios com argilas sódicas..... 132

Tabela 16 Resultados dos ensaios de permeabilidade (*in situ*), ensaios das pastilhas e resistência a seco..... 134

Tabela 17 Classificação das fontes de captação de água quanto ao tipo em cada propriedade, micro-regiões onde elas estão localizadas e classificação dos tipos de solo em cada propriedade..... 150

Tabela 18 Classificação da correlação linear..... 152

Tabela 19 Matriz de correlação entre oito variáveis de qualidade da água de 14 fontes de captação usadas para irrigação em Turuçu-RS..... 153

Tabela 20 Autovalores da matriz de correlação..... 154

Tabela 21 Valores dos autovetores das oito variáveis para cada um dos três componentes principais selecionados 155

Tabela 22 Correlações entre a alcalinidade e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais..... 159

Tabela 23 Correlações entre a condutividade elétrica e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais..... 161

Tabela 24 Correlações entre a DBO e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais..... 163

Tabela 25 Correlações entre o oxigênio dissolvido e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais..... 166

Tabela 26 Correlações entre os sólidos suspensos e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais..... 168

Tabela 27 Correlações entre os sólidos dissolvidos e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais..... 170

Tabela 28 Correlações entre os sólidos totais e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais..... 172

Tabela 29 Correlações entre a turbidez e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais..... 174

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL..... 21
2. REVISÃO DE LITERATURA..... 23
2.1. Água no solo 23
2.2. Potencial mátrico (ou tensão de água no solo)..... 24
2.3. Uso de tensiômetros para a estimar o conteúdo de água no solo..... 24
2.4. Curvas de retenção de água no solo..... 26
2.5. Capacidade de água disponível (CAD)..... 26
2.5.1. Capacidade de campo (θ_{CC})..... 27
2.5.2. Ponto de murcha permanente (θ_{PMP})..... 28
2.6. Irrigação na produção do morango..... 29
2.7. Irrigação por gotejamento e fertirrigação..... 31
2.8. Elementos constitutivos e características geométricas de pequenas barragens de terra agrícolas (PBTAs)..... 32
2.9. Propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos..... 34
2.10. Projeto de uma barragem de terra..... 35
2.11. Estabilidade de taludes..... 37
2.12. Erosão interna..... 37
2.13. Proteção de taludes..... 38
2.14. Vertedouros ou extravasores..... 40
2.15. Investigação das fundações..... 40
2.16. Investigações de materiais do maciço de terra e da fundação..... 41
2.17. Peculiaridades das pequenas barragens de terra agrícolas (PBTAs)..... 42
2.18. Recursos hídricos e segurança hídrica..... 43
2.19. Qualidade da água..... 44
2.20. Alguns parâmetros de qualidade da água..... 46
2.20.1. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)..... 47
2.20.2. Oxigênio dissolvido (OD)..... 48

2.20.3. Turbidez..... 48
2.20.4. Alcalinidade..... 49
2.20.5. Condutividade elétrica (CE)..... 49
2.20.6. Sólidos totais..... 50
2.20.7. Sólidos dissolvidos..... 51
2.20.8. Sólidos suspensos..... 52
2.21. Poluentes da água e suas fontes..... 52
2.22. Análise de componentes principais (ACP)..... 53
3. METODOLOGIA GERAL..... 55
3.1. Caracterização da área de estudo..... 56
3.1.1. Localização..... 56
3.1.2. Recursos hídricos..... 57
3.1.3. Clima..... 57
3.1.4. Aspectos geológicos e geomorfológicos de Turuçu-RS..... 59
3.1.5. Solos de Turuçu-RS..... 60
3.2. Aspectos gerais da cultura do morango em Turuçu-RS..... 61
3.3. Propriedades rurais que participaram deste estudo..... 62
4. CAPÍTULO 1 - AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESPACIAL E TEMPORAL DA CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL E DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO EM 12 LAVOURAS DE MORANGO NO MUNICÍPIO DE TURUÇU-RS..... 65
4.1. Introdução..... 65
4.2. Material e Métodos..... 68
4.2.1. Área de estudo..... 68
4.2.2. Caracterização da área de estudo..... 68
4.2.3 Atributos físico-hídricos do solo importantes no manejo da irrigação..... 69
4.2.4. Monitoramento das leituras nos tensiômetros..... 75
4.3. Resultados e Discussão..... 78
4.3.1. Avaliação dos valores da capacidade de água disponível (CAD)..... 78
4.3.2. Variação do armazenamento diário de água no solo ao longo do tempo..... 80

4.3.3. Variabilidade espacial e temporal do armazenamento diário de água no solo em lavouras de morango localizadas no município de Turuçu-RS, para os meses de setembro e dezembro..... 107

4.4. Conclusões..... 109

5. CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO DE DUAS PEQUENAS BARRAGENS DE TERRA AGRÍCOLAS EM TURUÇU-RS..... 110

5.1. Introdução..... 110

5.2. Material e Métodos..... 111

5.2.1. Localização..... 111

5.2.2.Caracterização das pequenas barragens de terra agrícolas (PBTAs)..... 113

5.2.2.1. Geometria do aterro..... 113

5.2.2.2. Geometria do vertedouro..... 114

5.2.2.3. Estudos geotécnicos..... 114

5.2.2.3.1. Coleta de amostras..... 114

5.2.2.3.2. Ensaios laboratoriais..... 116

5.2.2.3.3. Determinação da vazão de projeto e dimensionamento de vertedouros..... 122

5.3. Resultados e Discussão..... 124

5.3.1. Resultados dos ensaios do método das pastilhas, resistência a seco e granulometria..... 124

5.3.2. Ensaios de permeabilidade (*in situ*)..... 132

5.3.3. Avaliação das condições de segurança..... 135

5.3.4. Vazão de projeto e dimensionamento de vertedouros..... 137

5.4. Conclusões..... 142

5.5. Sugestões de futuros estudos..... 143

6. CAPÍTULO 3 - ANÁLISE DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA USADA PARA IRRIGAÇÃO DO MORANGUEIRO EM TURUÇU-RS..... 144
6.1. Introdução..... 144
6.2. Material e Métodos..... 146
6.2.1. Localização..... 146
6.2.2. Coleta de dados……..…….…. 149
6.2.3. Análise de componentes principais (ACP)..... 150
6.2.4. Correlação dos parâmetros de qualidade de água com a precipitação..... 151
6.3. Resultados e Discussão..... 153
6.3.1. Análise de componentes principais..... 153
6.3.2. Correlações entre oito parâmetros de qualidade de água e a precipitação..... 158
6.3.2.1. Alcalinidade 158
6.3.2.2. Condutividade elétrica (CE)..... 160
6.3.2.3. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)..... 162
6.3.2.4. Oxigênio dissolvido (OD)..... 165
6.3.2.5.Sólidos suspensos..... 167
6.3.2.6. Sólidos dissolvidos..... 169
6.3.2.7. Sólidos totais..... 171
6.3.2.8.Turbidez..... 173
6.4. Conclusões..... 176
7. CONCLUSÕES GERAIS.....……..……..…. 177
8. REFERÊNCIAS .....…..... 178
APÊNDICES..... 189

1. INTRODUÇÂO GERAL

A agricultura familiar tem desempenhado um importante papel no desenvolvimento econômico da metade sul do Rio Grande do Sul, permitindo uma ampliação na geração de renda aos pequenos produtores rurais da região. No município de Turuçu-RS, 57,78% dos habitantes residem na zona rural segundo IBGE (2010). Até pouco tempo atrás este município possuía sua economia vinculada à indústria de curtume de couros e peles, sendo que atualmente ela se baseia na agropecuária e na agroindústria. As principais atividades nas propriedades rurais do município são a pecuária leiteira, a produção de frutíferas de clima temperado e o cultivo do fumo e pimenta vermelha.

O cultivo do morangueiro possui destaque no município, sendo o morango produzido e comercializado “in natura” e também de forma processada (geléias, doces, etc.), o que propicia aos produtores que lidam com esta olerícula a geração de emprego e renda, de inclusão social, possibilitando a subsistência e motivando que várias famílias permaneçam no campo com garantia do padrão de qualidade de vida.

Na maioria das lavouras de morango, de acordo com Strassburger et al. (2009), o sistema de produção é caracterizado pela utilização de cobertura do solo com plástico de coloração preta, pela utilização de túneis baixos e pelo sistema de irrigação por gotejamento com aplicação de fertilizantes via água de irrigação (fertirrigação).

A importância e os benefícios do uso da técnica de irrigação na cultura do morango vêm sendo constatados pelos agricultores, já que esta influi na quantidade do produto “in natura” que têm sido comercializado para supermercados de Pelotas, Rio Grande e São Lourenço, dentre outros municípios, bem como para agroindústrias e feirantes que levam o morango para outras localidades (ISLABÃO, 2009). Entretanto, em virtude de algumas propriedades localizarem-se distantes de mananciais, muitos destes agricultores necessitam construir barramentos para

represar a água de forma eficiente, garantir o êxito nas atividades de irrigação das lavouras, e também assegurar a quantidade e a qualidade de água para estas atividades.

Diante dos argumentos supracitados e considerando a grande importância da cultura do morango na vida socioeconômica dos produtores rurais do município de Turuçu-RS, justifica-se o presente trabalho que teve como objetivo geral avaliar os aspectos de segurança hídrica em sistemas familiares de produção de morango sob irrigação em Turuçu-RS.

Para o atendimento do objetivo geral, este trabalho foi dividido em três capítulos. O primeiro Capítulo teve como objetivo avaliar o comportamento espacial e temporal, na faixa de 0-200 mm de profundidade, de parâmetros físico-hídricos do solo (capacidade de água disponível e armazenamento de água) relacionados ao manejo de irrigação adotado em 12 lavouras de morango localizadas no município de Turuçu-RS. O objetivo do segundo Capítulo foi o de avaliar as características geotécnicas e de segurança de duas pequenas barragens de terra que armazenam água para a irrigação de morango e outras culturas. Já o objetivo do terceiro Capítulo foi o de avaliar a possível existência de correlação entre oito parâmetros de qualidade da água com os diferentes tipos de mananciais usados como fonte de captação na irrigação do morango, com a classificação do solo, com as micro-regiões em que se localizam e com a precipitação antecedente, referentes a 14 propriedades rurais de Turuçu-RS.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Água no solo

Conforme Gomes (1999), a água que infiltra no solo até as camadas mais profundas, sob ação da força de gravidade, é denominada água livre ou água de gravidade. Esta água não é retida pela camada do solo ao alcance da zona radicular e se perde por percolação. A água que permanece retida no solo sob o efeito da capilaridade, decorrente da tensão superficial entre as moléculas da água e as partículas sólidas do solo, denomina-se água capilar ou água de capilaridade estando sujeita a um movimento de ascensão, que depende da porosidade do solo.

De acordo com Libardi (2010) o espaço poroso do solo no campo é ocupado por quantidades variáveis de uma solução aquosa denominada “água no solo” e de uma solução gasosa denominada ar do solo; o solo nessa situação denomina-se não saturado. Dois são os processos que explicam a retenção da água em um solo não saturado, no primeiro a retenção ocorre nos chamados poros capilares do solo e pode ser ilustrado pelo fenômeno de capilaridade, o qual está associado a uma interface curva água-ar. No segundo processo, a retenção ocorre nas superfícies dos sólidos do solo como filmes presos a ela, pelo fenômeno da absorção.

Segundo Reichardt e Timm (2008) o movimento da água no solo, no estado líquido, ocorre sempre que existirem diferenças de potencial hidráulico H nos diferentes pontos do sistema. O potencial hidráulico H pode ser obtido pela soma de Ψ_p, Ψ_m e Ψ_g, onde Ψ_p representa a componente de pressão; Ψ_m a componente matricial; e Ψ_g a componente gravitacional. Esse movimento se dá no sentido do decréscimo do potencial H, isto é, a água sempre se move de pontos de maior potencial para pontos de menor potencial.

2.2. Potencial mátrico (ou tensão de água no solo)

De acordo com Libardi (2005), o termo mátrico é para representar os efeitos da matriz do solo, isto é, a porção sólida do solo sobre o potencial da solução. Como estes efeitos dizem respeito aos fenômenos de retenção da solução pela matriz do solo, dependem fundamentalmente do conteúdo de água nesta, ou seja, o potencial mátrico diz respeito às interações entre a matriz do solo e a solução nela retida, incluindo forças associadas com os fenômenos de adsorção e a capilaridade, responsáveis pela retenção de água. O potencial mátrico descreve a contribuição das forças de retenção da solução no solo associadas com suas interfaces líquido-ar e sólido-líquido. Está, portanto, relacionado com o conteúdo de água no solo, sendo tanto menor quanto mais seco estiver o solo.

Segundo o mesmo autor, há três maneiras para medir o potencial mátrico. As três utilizam uma placa porosa (cujos poros devem ser mantidos cheios de solução, para que ela se torne permeável somente à solução) separando uma amostra de solo (fase considerada) de um recipiente contendo uma solução idêntica em composição e concentração à solução nesta amostra de solo, e sujeita à pressão atmosférica local (fase padrão). A primeira utiliza uma câmara submetida à pressões controladas de ar, denominada de câmara de pressão com placa porosa ou câmara de pressão de Richards; a segunda é com o uso de um funil de placa porosa; e a terceira com o uso de tensiômetros (abaixo descritos).

2.3. Uso de tensiômetros para a estimar o conteúdo de água no solo

Há uma série de instrumentos empregados na determinação da tensão de água no solo (como, por exemplo, o tensiômetro), os quais fornecem um ou mais componentes, dependendo do tipo de instrumento (REICHARDT; TIMM, 2008). O tensiômetro é um equipamento que mede diretamente o potencial matricial da água no solo, sendo o conteúdo de água no solo determinado de forma indireta via curva de retenção (MANTOVANI; BERNARDO; PELARETTI, 2006).

De acordo com Bernado, Soares e Mantovani (2006), o conteúdo de água no solo está diretamente relacionado ao volume de água nele armazenado, bem

como à sua resistência e compactação, entre outros fatores. O conhecimento do conteúdo de água no solo é importante para estudos do movimento da água no solo, disponibilidade de água, erosão, época e quantidade de água a ser aplicada para irrigação, dentre outros. Os autores acima citados também ressaltam que o tensiômetro é um método direto para a determinação da tensão de água no solo e indireto da porcentagem de água no solo e que possuem uma capacidade de leituras de tensão entre 0 atm e 0,75 atm. No caso de tensões maiores, poderá perder a escorva e parar de funcionar.

O tensiômetro consiste de uma cápsula porosa de cerâmica em contato com o solo, ligada a um manômetro, por meio de um tubo de PVC completamente cheio de água. Quando instalado no solo até a profundidade de interesse, a água contida no seu interior entra em contato com a água do solo através dos poros da cápsula porosa e o equilíbrio tende a se estabelecer (REICHARDT; TIMM, 2008). Os autores ainda mencionam que antes de colocar o instrumento em contato com o solo, sua água está sob pressão atmosférica e a água do solo, em geral, está sob pressões subatmosféricas exercendo uma sucção no interior do instrumento retirando, desta forma, certa quantidade de água, causando queda na pressão hidrostática no seu interior. Estabelecido o equilíbrio, o potencial da água dentro da cápsula do tensiômetro é igual ao potencial da água no solo em torno da cápsula e o fluxo de água cessa, sendo essa diferença de pressão indicada por um manômetro. Para Bernardo, Soares e Mantovani (2006), os manômetros podem ser do tipo metálico (Bourdon) ou de coluna de mercúrio, sendo este último mais preciso, porém exigem mais cuidados no seu manuseio. A Fig.1 mostra uma representação esquemática do tensiômetro.

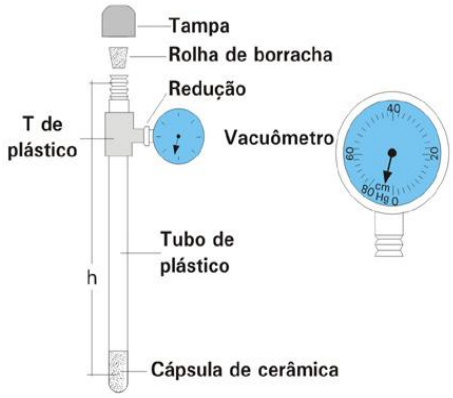


Figura 1. Representação esquemática de um tensiômetro.
Fonte: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br.

2.4. Curva de retenção de água no solo

De acordo com Andrade Junior (2007), a curva de retenção de água no solo expressa a relação entre o conteúdo de água, em base de massa ou volume, e o potencial matricial da água no solo (ou também, se considerado em módulo, denominado de tensão da água no solo).

A energia com que a água se encontra retida na matriz do solo está relacionada aos fenômenos de capilaridade e de adsorção (REICHARDT; TIMM, 2008). A retenção da água no solo é afetada por uma série de fatores, mas principalmente pela distribuição relativa do tamanho de suas partículas (granulometria), da forma e do arranjo destas partículas. A curva de retenção de água no solo, também conhecida como curva característica de água no solo, apresenta diversas aplicações práticas, técnicas e científicas, tais como a obtenção da capacidade de campo, do ponto de murcha permanente e da capacidade de água disponível no solo, variáveis indispensáveis para um adequado manejo de irrigação (ANDRADE JUNIOR, 2007).

2.5. Capacidade de água disponível (CAD)

De acordo com Mello et al. (2002), a capacidade de água disponível (CAD) é a água presente no intervalo entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), sendo que o CC representa o limite superior desse intervalo, aceito como conteúdo de água retido pelo solo depois que o excesso tenha sido drenado pela gravidade. O limite inferior é representado pelo PMP que se refere ao conteúdo de água presente no solo abaixo do qual a planta não consegue absorver pela forte retenção matricial.

Na Fig. 2 apresenta-se um diagrama dos parâmetros de umidade no solo e a representação da capacidade de água disponível.

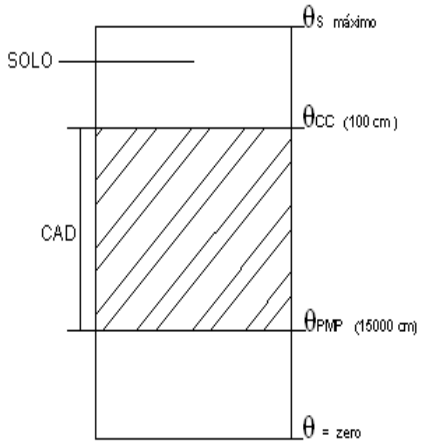


Figura 2. Diagrama dos parâmetros de umidade no solo e representação da capacidade de água disponível no solo (CAD).

2.5.1. Capacidade de campo (θ_{CC})

Conforme Pires et al. (1999), a umidade do solo na capacidade de campo (θ_{CC}) corresponde à capacidade máxima de retenção de água do solo, ou seja, representa o limite superior de água que o solo pode reter. Embora seja um conceito arbitrário é útil para a irrigação, o conceito de capacidade de campo considera que após a saturação do solo o fluxo descendente de água no solo decresce com o tempo, até que se torna desprezível, ou mesmo cessa depois de alguns dias. A umidade do solo na qual a drenagem interna praticamente cessa, equivale à umidade na capacidade de campo, e que normalmente ocorre cerca de 2 a 3 dias após a chuva ou a irrigação intensa em solos permeáveis de estrutura e textura uniforme.

Para van Lier (2010) a disponibilidade de água às plantas não depende apenas da facilidade que a planta tem para absorvê-la do solo, mas também da permanência da água na zona radicular. Em solos bem drenados sob condições úmidas, após um período de chuva, por exemplo, a drenagem ocorre a taxas altas, fazendo com que parte da água se indisponibilize para as plantas rapidamente. A capacidade de campo refere-se às condições hídricas em que essa drenagem é considerada disponível.

Com os conhecimentos atuais do movimento de água em solos saturados e não-saturados, tornou-se evidente que capacidade de campo é um conceito arbitrário, e não uma propriedade física do solo. Em solos de textura grossa, geralmente há redução da intensidade de movimento com a diminuição da umidade, abaixo de certos valores, apresenta uma faixa de transição bem nítida, tornando a capacidade de campo bem definida. Contudo, em alguns solos de textura fina, não há uma nítida faixa de transição na redução da intensidade de movimento de água, tornando o conceito de capacidade de campo menos preciso (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

A capacidade de campo pode ser determinada por métodos de campo, de laboratório e indiretos (REICHARDT; TIMM, 2008). No campo, deve-se proceder o molhamento abundante do solo, em área delimitada, até deixar o solo saturado. Após essa irrigação excessiva cobre-se a área evitando a evaporação da água do solo. Após 24 horas iniciam-se determinações de umidade do solo sequenciais, até observar-se que a umidade solo permanece constante. No método de laboratório relaciona-se θ_{CC} a uma tensão de água no solo de 0,010 a 0,033 MPa, aplicada via câmara de pressão, metodologia proposta por Richards, 1965. Na maioria das vezes, adota-se 0,010 MPa para solos de textura grosseira e 0,033 MPa para solos de textura fina. No método indireto estima-se a umidade na capacidade de campo a partir de parâmetros físicos e químicos do solo facilmente encontrados nos bancos de dados de laboratórios de solos. São as denominadas Funções de Pedotransferência (REICHARDT; TIMM, 2008).

2.5.2. Ponto de murcha permanente (θ_{PMP})

O ponto de murcha permanente representa o conteúdo de água no solo abaixo do qual a planta não conseguirá retirar água na mesma intensidade com que ela transpira. Isso aumenta a cada instante a deficiência de água na planta, o que a levará à morte, caso não seja irrigada. O ponto de murcha permanente, segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006), representa o limite mínimo de água armazenada no solo que será usado pelos vegetais, sendo que seu valor depende do tipo de solo.

De acordo com van Lier (2010), a definição do ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) surgiu no início do século passado em trabalhos de Briggs e Shantz (1912) e Hendrickson e Veihmeyer (1929), sendo assim definido: conteúdo de água em um solo no qual as folhas de uma planta que nele cresce atingem pela primeira vez um murchamento irrecuperável, mesmo quando colocada em uma atmosfera saturada com vapor de água. O autor ainda destaca que a importância do θ_{PMP} é menor por estar fora da faixa de conteúdo de água que ocorre, normalmente, em solos agrícolas. Assim seu valor é utilizado apenas para caracterizar o solo em termos de sua capacidade de água disponível (CAD), onde o erro no cálculo ocorre com muito maior facilidade no lado superior (θ_{CC}) do que no lado inferior (θ_{PMP}). Portanto, como o objetivo normalmente é a determinação da CAD, esta varia pouco em função da tensão escolhida para definir o ponto de murcha permanente, seja essa de 1.000, 1.500 ou 2.200 kPa, por exemplo.

2.6. Irrigação na produção do morango

A técnica de irrigação contribui entre vários aspectos para uma maior eficiência no uso da água, possibilitar o cultivo de terra em períodos de estiagem e para obter-se uma maior produtividade nas culturas. De acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2006), a irrigação é uma técnica milenar mas que continua se desenvolvendo, apresentando equipamentos e sistemas para as mais distintas condições. A história da irrigação se relaciona com a do desenvolvimento e prosperidade econômica dos povos. As civilizações antigas se desenvolveram em regiões áridas, onde a produção só era possível graças à irrigação. A história ensina que a irrigação sempre foi um fator de riqueza, prosperidade e, consequentemente, de segurança. Atualmente, mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos na agricultura irrigada. Ainda segundo os autores, o contínuo crescimento da população mundial vem exigindo uma agricultura competitiva e tecnificada, que possibilite a produção de alimentos de melhor qualidade e em maior quantidade.

O crescimento sustentável da irrigação necessita de um programa muito bem elaborado de pesquisa e desenvolvimento para o seu estabelecimento e

consolidação. O futuro da irrigação envolve produtividade e rentabilidade com: eficiência no uso da água, eficiência no uso de energia, eficiência no uso de insumos e respeito ao meio ambiente. Sendo assim, o conhecimento da quantidade de água requerida pelas culturas constitui-se em aspecto importante na agricultura irrigada para que haja uma adequada programação do manejo nos sistemas de irrigação (LOPES et al., 2004).

As tecnologias dos sistemas de irrigação, as práticas de manejo da água e do solo nas áreas irrigadas, através de critérios adequados, se revestem de importância cada vez maior, face a intensificação da exploração dos recursos hídricos. Na exploração agrícola dos grandes pólos irrigados, nas empresas privadas ou até mesmo na agricultura familiar, o controle dos recursos naturais, como um todo, é uma questão de sutentabilidade das comunidades (SILVA, 2006).

Para uma maior eficiência da irrigação, há necessidade de conhecimento das exigências hídricas de cada espécie com que se está trabalhando e do período crítico ao déficit hídrico; no caso do morangueiro, vai desde o início do desenvolvimento do fruto até o amadurecimento. Um adequado suprimento de água nessa fase proporciona melhor desenvolvimento das plantas e por consequência um aumento da produção, do peso médio e do número de frutos. À medida que ocorre um aumento do estresse hídrico, a produção e seus componentes irão diminuindo e a maturidade dos frutos será acelerada (SANTOS; MEDEIROS; WREGE, 2005).

Em estudo realizado na região de Atibaia-SP, nos altos da bacia hidrográfica do Rio Piracicaba, Vieira (2000) constatou em diversas propriedades rurais que se dedicam à produção de morango, que o desperdício na água de irrigação era da ordem de 30%, com o agravante de que parte desta água, que não consegue infiltrar no solo e escoa superficialmente erodindo o solo e levando para os mananciais, grande quantidade de sólidos em suspensão, gerando problemas a jusante. O mesmo autor ainda constatou que tal desperdício decorre basicamente das instalações de irrigação superdimensionadas, da ausência de projeto técnico, do método de irrigação tradicionalmente empregado na região ser inadequado para a cultura do morango e da falta de preparo técnico do agricultor.

2.7. Irrigação por gotejamento e fertirrigação

De acordo com Mantovani, Bernardo e Pelaretti (2006), a irrigação localizada é um sistema de irrigação em que a água é aplicada diretamente na zona de atividade radicular em pequenas intensidades (baixa vazão) e alta frequência (turno de rega pequeno), mantendo esse solo próximo a capacidade de campo.

Nos últimos anos, vem crescendo a utilização do sistema de irrigação por gotejamento em virtude da maior eficiência no uso da água e no controle de problemas fitossanitários. A parte aérea das plantas, permanecendo seca, não proporciona condições ao desenvolvimento de fungos e bactérias, como consequência, há um aumento na produtividade, no tamanho e na qualidade do fruto. Também tem como vantagens: irrigações com turnos de rega menores, redução no consumo de energia elétrica e a possibilidade de uso da fertirrigação, que permite que os nutrientes sejam aplicados juntamente com a água em uma forma solubilizada, possibilitando que o morangueiro atinja altos rendimentos, com o mínimo consumo de água (SANTOS; MEDEIROS; WREGE, 2005).

De acordo com os autores supracitados, no sistema de gotejamento as perdas de água por percolação ou escorrimento superficial, comum a outros métodos, são minimizadas, sendo praticamente inexistentes. A Fig. 3 ilustra um sistema de irrigação por gotejamento em canteiro de morango.

Figura 3. Irrigação por gotejamento.
Fonte: EMBRAPA, Jaime Duarte Filho, 2005.

Conforme salientado anteriormente, a fertirrigação é a aplicação conjunta de água e fertilizantes no solo por meio de sistemas de irrigação, principalmente o de gotejamento. Segundo Boas et al. (2005), a fertirrigação tem como objetivo o aumento da produtividade e a redução dos custos de defensivos, fertilizantes e energia, mas fundamentalmente visa a sustentabilidade da produção, a redução dos problemas ambientais e a diminuição de resíduos de agrotóxicos na planta.

2.8. Elementos constitutivos e características geométricas de pequenas barragens de terra agrícolas (PBTAs)

Os elementos constitutivos das barragens de terra, de acordo com D'Ávila (2010), são compostos por maciço de terra, fundação, vale, ombreiras, áreas de empréstimo, conduto enterrado e vertedouro, que estão descritos a seguir:

Maciço de terra (aterro): constitui a barragem propriamente dita, é a parte encarregada de reter a água.

Fundação: terreno natural onde é assentado o maciço de terra.

Vale: parte da fundação constituída por solos de várzea (solos transportados).

Ombreiras: parte da fundação em que há inclinação acentuada e onde ocorre o encontro do maciço de terra com o terreno natural. Nas ombreiras (esquerda e direita), o maciço de terra possui uma altura menor e os solos são normalmente diferentes do resto da fundação.

Áreas de empréstimo ou jazidas: ocorrências de materiais, próximos ao local de execução da obra, utilizados para a construção do maciço de terra.

Conduto enterrado: dispositivo destinado a captar a água a ser utilizada para irrigação ou produção de energia elétrica.

Vertedouro: dispositivo construído para dar escoamento ao excesso de água ou enxurrada durante e após a ocorrência de chuvas. Também denominado extravasor, vertedor, ladrão e desponte (CARVALHO, 2008).

A Fig. 4 apresenta os principais elementos de uma pequena barragem de terra agrícola.

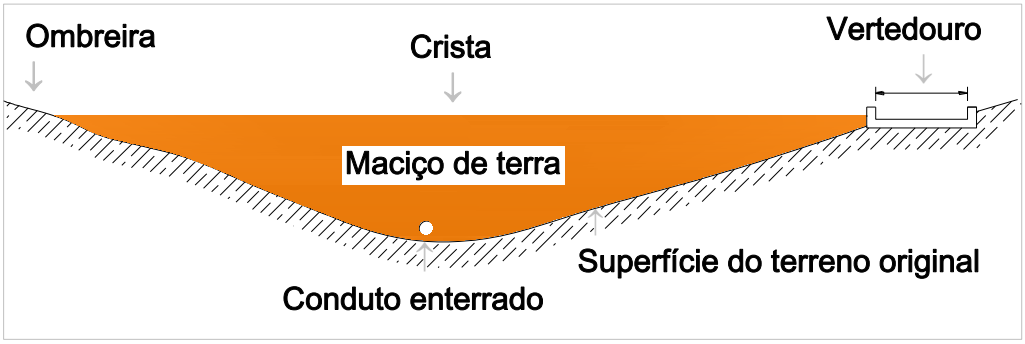


Figura 4. Elementos constitutivos de uma barragem de terra.
Fonte: D'ÁVILA, 2010 (modificado).

A crista, a altura e os taludes compõem as características geométricas básicas das barragens de terra, e suas dimensões são variáveis de acordo com o projeto da barragem agrícola. Estes elementos, que estão descritos a seguir, são representados na Fig. 5.

Crista: parte superior da estrutura (aterro), apta a proporcionar trânsito de veículos.

Altura: diferença entre a cota da crista e a fundação, no ponto em que o maciço de terra apresenta maior altura, (D'ÁVILA, 2010).

Taludes: conforme Carvalho (2008), os taludes são as faces laterais e inclinadas, paralelas ao eixo do aterro, sendo o talude de montante o lado que fica em contato com a água, e, de jusante, o lado de baixo (normalmente o lado seco) da barragem.

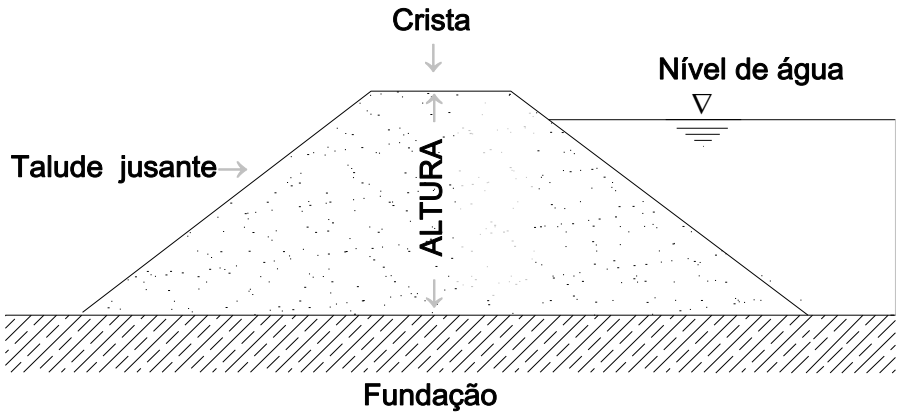


Figura 5. Representação esquemática da seção transversal de uma barragem de terra.
Fonte: D'ÁVILA, 2010 (modificado).

2.9. Propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos

De acordo com D'Ávila (2010) o estudo das propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos são determinantes na elaboração e execução de projetos que utilizam solos, quer como material de construção, como fundação ou taludes naturais. Segundo Nogami e Villibor (1994), sob o ponto de vista da engenharia, solo é o material natural não consolidado, isto é, constituído de partículas separáveis por processos mecânicos e hidráulicos relativamente suaves, como dispersão em água com uso de aparelho dispersor de laboratório, e que pode ser escavado com equipamentos comuns de terraplanagem.

As propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos e suas definições são apresentadas a seguir de acordo com D'Ávila (2010):

Deformabilidade: pode ser compreendida como a propriedade que avalia a capacidade de um dado material em deformar-se quando submetido à alteração de tensão ou de teor de umidade. A deformabilidade dos solos é utilizada na previsão dos recalques totais e diferenciais das estruturas.

Resistência ao cisalhamento: diz-se da propriedade que avalia a capacidade de um dado material em resistir às tensões de cisalhamento aplicadas. A resistência ao cisalhamento dos solos permite avaliar a estabilidade de um talude.

Permeabilidade: compreende-se como a propriedade que indica a maior ou menor facilidade da passagem da água através dos vazios de um material saturado. A permeabilidade dos solos é um dado fundamental para estimar o volume de água percolado em barragens de terra.

Resistência à erosão hídrica: reside na propriedade que avalia a maior ou menor facilidade de desprendimento das partículas ou agregados de um material pela ação da água. A resistência à erosão dos solos deve ser considerada para avaliar a possibilidade de se instalar um processo erosivo.

As propriedades mecânicas e hidráulicas dependem do tipo (distribuição granulométrica e composição mineralógica das partículas) e do estado do solo (peso específico natural, umidade). O tipo de solo apresenta, frequentemente, maior importância na medida em que o estado pode ser modificado através de serviços de compactação e correção de umidade, e, em situações especiais, também pode ser

modificado através da utilização de métodos de estabilização química (D'ÁVILA, 2010).

2.10. Projeto de uma barragem de terra

Conforme D'Àvila (2010) pode-se dividir a literatura disponível sobre o projeto de PBTAs em dois grupos: as produzidas por técnicos vinculados especificamente a este setor, normalmente superficiais, tanto no que tange a concepção da barragem quanto ao estudo dos materiais (mecânica dos solos), e as produzidas por engenheiros que desenvolvem atividades em grandes barragens, distantes da realidade no que se referem às exigências de investigação dos materiais, de projeto e construtivas, sendo incompatíveis com os custos de implantação das PBTAs. No último grupo mencionado, destaca-se o clássico Manual produzido nos Estados Unidos: Bureau Reclamation, Design of Small Dams (Projeto de Barragens Pequenas) em 1987, contendo exigências de projeto com elevados custos das investigações geológico-geotécnicas indicadas.

As dificuldades de uso das indicações do órgão norte-americano e a falta de diretrizes desenvolvidas para a realidade brasileira justificam a realidade atual: as PBTAs são construídas, em nossa região, atendendo a critérios exclusivamente empíricos.

Os seguintes aspectos devem ser considerados quando do projeto de uma barragem de terra (D'ÁVILA, 2010), cuja altura já tenha sido determinada pelas necessidades hídricas e pelas características geométricas do reservatório:

Estabilidade de taludes – os taludes do maciço de terra devem ser estáveis durante a construção e em todas as fases de operação da barragem (Fig. 6).

Figura 6. Exemplo de instabilidade em um talude de maciço de terra.
Fonte: D'ÁVILA, 2010.

Erosão interna ou retroerosão – a percolação, através do maciço de terra e fundação, deve ser controlada de tal modo que não ocorra a remoção de partículas de solo, formando uma cavidade a qual pode progredir para montante (Fig. 7).

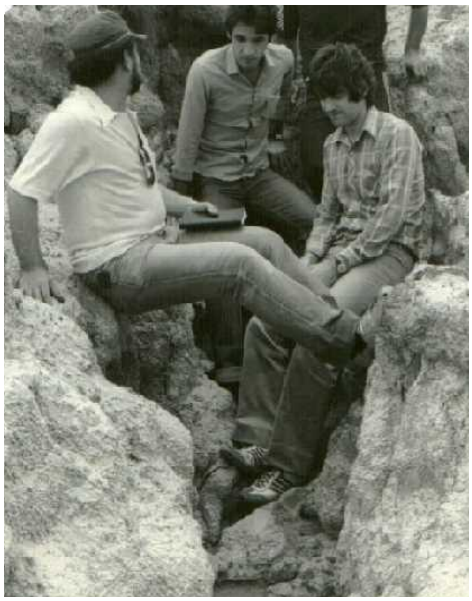


Figura 7. Retroerosão na barragem Santa Bárbara (Pelotas-RS).
Fonte: D'ÁVILA, 2010.

Proteção de taludes – os taludes do maciço de terra não devem sofrer erosão a jusante e a montante (Fig. 8).

Figura 8. Proteção de talude a montante.
Fonte: D'ÁVILA, 2010.

Vertedouro – capaz de extravasar os picos de cheia, de modo a evitar que a água passe por cima da crista do maciço de terra.

2.11. Estabilidade de taludes

Com relação à estabilidade de taludes, Marsal (1974) menciona que em barragens com altura menor do que 10 m, construídas com material compactado, a estabilidade dos taludes não é determinante no projeto, a menos que a fundação tenha baixa resistência ao cisalhamento (argilas moles). Em mecânica dos solos as argilas moles são classificadas como aquelas que possuem o valor do índice de consistência (IC) maior que zero e menor do que 0,50 (CAPUTO,1988).

Segundo Mardal (1974), o aspecto a ser considerado, e evitado, relativo à estabilidade, é a presença de solos moles (umidade elevada) na fundação e no maciço de terra.

2.12. Erosão interna

Segundo Massad (2010) as barragens de terra devem dispor de sistemas de drenagem (filtros verticais e horizontais, Fig. 9) para evitar que o fluxo de água, que percola através do maciço de terra, chegue a jusante e possa carregar partículas de solo, tanto do maciço de terra e fundação, dando início ao processo de erosão interna ou retroerosão. As PBTAs geralmente não dispõem deste sistema de drenagem interno.

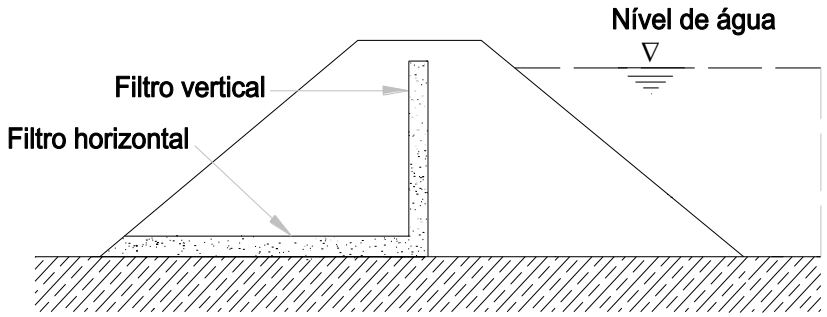


Figura 9. Posição de filtro vertical e horizontal em uma barragem de terra.
Fonte: D'ÁVILA, 2010 (modificado).

2.13. Proteção de taludes

As barragens devem ter proteção contra a erosão , nos taludes de montante e jusante. No talude de montante a solução convencional é a utilização de enrocamentos (*rip-rap*), cujas dimensões dependem da altura de onda (função do *fetch* – comprimento do lago transversal ao eixo da barragem). No talude de jusante é usada vegetação, exceto em regiões desérticas. Normalmente as PBTAs não dispõem de proteção com enrocamentos a montante (D'ÁVILA, 2010).

O processo erosivo no talude de montante, na ausência de proteção adequada, depende de diversos fatores, dentre eles: da espessura do solo de capeamento, da composição granulométrica desse solo, da energia das ondas atuantes, da forma do reservatório, da declividade das encostas, etc. (VINCENZO JUNIOR, 2003, apud PIMENTEL, 2004).

De acordo com Pimentel (2004), o recuo do talude de montante se dá pela formação de uma plataforma de erosão, com declividade variável, em geral de 2% a 10%, que pode alcançar dezenas de metros além da borda original do reservatório. Dependendo do material e do tipo do reservatório, o processo erosivo pode formar barrancos contínuos na orla.

A Fig.10 mostra o processo de erosão em taludes de montante. Os sedimentos erodidos nas margens são retrabalhados pelo fluxo e refluxo das ondas, sendo que uma parte desse sedimento se deposita no pé dos barrancos de erosão, numa feição de relevo denominado "praia", enquanto as margens adquirem o aspecto de falésias litorâneas. Outra parte desse sedimento é removida para o interior do reservatório, pela subida do nível de água ou pela ocorrência de ondas de maior amplitude (PIMENTEL, 2004).

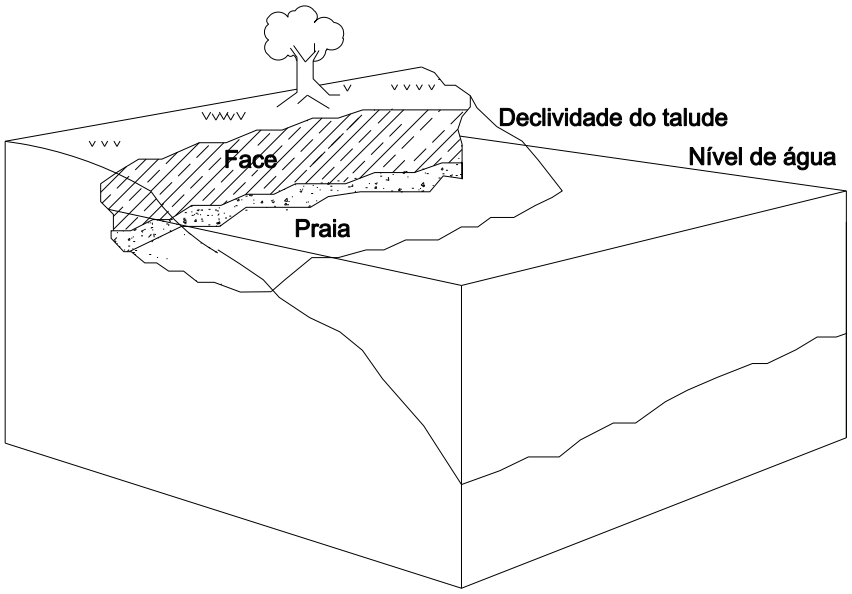


Figura 10. Processo erosivo em margens de reservatórios (talude a montante). Fonte: PIMENTEL, 2004 (modificado).

A Fig. 11 mostra a seção transversal do talude a montante de um reservatório onde ocorreu o processo de erosão.

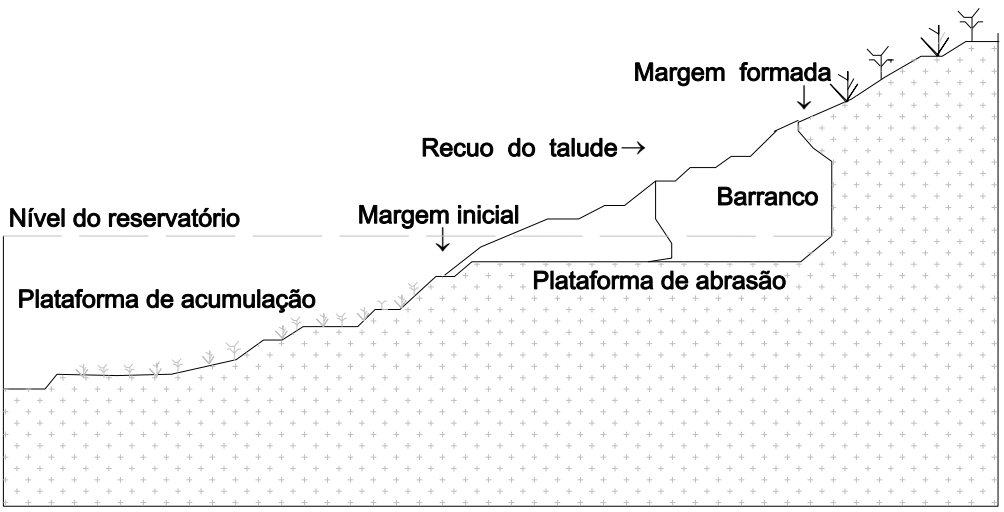


Figura 11. Seção transversal do talude na evolução do processo erosivo. Fonte: PIMENTEL, 2004 (modificado).

2.14. Vertedouros ou extravasores

A insuficiência do vertedouro é uma das causas principais da ruptura de barragens de terra (MATOS; SILVA; PRUSKI, 2003). De acordo com o Agrônomo Lauro Francisco Schneid, funcionário do escritório da Emater de Turuçu-RS (informação verbal)[1] uma da causas principais da ruptura de PBTAs é o dimensionamento incorreto dos vertedouros. Normalmente os vertedouros em PBTAs possuem a forma de um canal de terra, situado junto a uma das ombreiras. Embora pudesse e devesse ser revestido com grama ou outro material, esta é uma condição inusual na região. Há uma publicação australiana (LEWIS, 2001) que trata especificamente do dimensionamento de vertedouros em canal, revestidos com grama. Ainda, Carvalho (2008) menciona que em muitas situações pode-se utilizar extravasores de concreto, que, no entanto, apresentam custos elevados para PBTAs.

2.15. Investigação das fundações

Conforme D'Ávila (2010), a investigação do terreno da fundação é fundamental para se poder dispor de informações relacionadas às propriedades mecânicas e hidráulicas dos materiais existentes do terreno sobre o qual será implantada a barragem.

Segundo Matos, Silva e Pruski (2003) o requisito para a locação da fundação de uma barragem de terra é que o material forneça suporte estável para o maciço sob todas as condições de saturação, carga e que ofereça resistência suficiente à percolação para que não ocorra excessiva perda de água. Sempre que possível, deve-se analisar muito bem as zonas onde existam bancos de areia ou cascalhos, pois eles são muito permeáveis, podendo ocasionar fugas excessivas de água pela fundação.

Conforme D'Ávila (2000), dois são os tipos de materiais indesejáveis no terreno onde será implantada uma PBTA:

[1] Entrevista realizada em 2011, no escritório da EMATER/Turuçu-RS.

a) Argilas moles ($N_{SPT\ (Standart\ Penetration\ Test)}$ < 4) – condições para evitar a ruptura do talude;
b) Solos arenosos com permeabilidade elevada - evitar o estabelecimento de processos de erosão interna.

Devido a restrições de natureza econômica, as investigações em PBTAs devem ser extremamente simples, com o uso de trados para perfuração ou por aberturas de trincheiras escavadas com pás, picaretas, retro-escavadeiras, etc.

Para as sondagens no local da construção da barragem pode-se usar uma haste metálica (de ferro ou liga de aço) de 1 1/2" ou 3/4" , e comprimento de 1 a 3m. Esta haste é utilizada para determinar a resistência oferecida pelo solo à penetração desta, até que seja encontrada a camada impermeável (material argiloso ou material consolidado). Devem ser evitados solos com baixa resistência à penetração da haste, pois possuem alta plasticidade com elevada capacidade de deformação (MATOS; SILVA; PRUSKI, 2003).

2.16. Investigações de materiais do maciço de terra e da fundação

A barragem deve ser localizada o mais próximo possível de locais onde haja solo (material de empréstimo) de boa qualidade e em quantidade suficiente para a sua construção, pois o transporte a longas distâncias, pode aumentar muito os custos, inviabilizando a sua construção (CARVALHO, 2008). As propriedades mais importantes a serem atendidas por um material a ser utilizado no maciço de terra são relativas à permeabilidade e a resistência à erosão. A deformabilidade e a resistência ao cisalhamento são menos importantes (D'ÁVILA, 2010).

A avaliação das propriedades mecânicas e hidráulicas dos materiais exige a utilização de ensaios de custo relativamente expressivo, quando comparados aos custos de implantação de uma PBTA. Tampouco teria sentido a realização de tais ensaios, para os materiais constituintes do aterro, uma vez que na prática não ocorre uma compactação homogênea do material do aterro (ver item 2.9). A literatura técnica, nestes casos, propõe a utilização de sistemas de classificação de solos, baseados em ensaios simples e de baixo custo (Limites de Atterberg e análise

granulométrica por peneiramento), que permitem inferir sobre as propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos. Dois sistemas de classificação são os mais utilizados: Classificação Unificada e o Sistema Rodoviário de Classificação (Pinto, 2000). Segundo Pinto (2000) "... parâmetros e classificações desenvolvidos em países de clima temperado não representam o comportamento de solos lateríticos e saprolíticos, comuns no Brasil". O Professor Job Shuji Nogami (1997) desenvolveu um sistema de classificação, denominado MCT (Miniatura Compactado Tropical), com um viés predominantemente rodoviário, baseado na determinação de algumas propriedades mecânicas e hidráulicas em corpos de prova de 50 mm de diâmetro. Os altos custos injustificáveis destes ensaios motivaram o desenvolvimento de um método expedito, baseado em ensaios com pastilhas, denominado de método das pastilhas (NOGAMI; COZZOLINO,1985).

O laboratório de Mecânica dos Solos do Centro de Engenharias da UFPel usa, para análise de materiais para revestimento de vias não-pavimentadas, o método das pastilhas, mencionado acima, associado aos ensaios de resistência a seco e análise granulométrica por peneiramento. No método das pastilhas utiliza-se apenas a fração fina do solo, que passa em peneira 200 mesh (0,075 mm), e posteriormente a pastilha é moldada no interior de um anel de PVC.

2.17. Peculiaridades das pequenas barragens de terra agrícolas (PBTAs)

As PBTAs têm uma série de peculiaridades diferenciadas em relação a grandes barragens de terra, sobre as quais se refere a maior parte da literatura disponível. De acordo com D'Ávila (2010) nas PBTAs ocorrem:

1) Disponibilidade limitada de recursos para investigação de materiais (fundação e aterro).
2) Não são barragens de terra homogêneas - as propriedades mecânicas e hidráulicas não são semelhantes em qualquer ponto, mesmo que constituídas de único material, devido ao processo de compactação que utiliza apenas a pressão dos pneus do *scraper* (Fig. 12). Por sua vez, a utilização de rolos compactadores, que imprimiriam uma compactação homogeneizadora, deve estar associada à utilização de motoniveladora (dispor material na altura

adequada para a compactação), o que traria um aumento de custos significativo.

3) Não dispõem de proteção de talude montante com enrocamento.
4) Não dispõem de sistemas de drenagem internos (filtro septo e horizontal).
5) Vertedouros com a forma de canal, normalmente desprovidos de vegetação.

Figura 12. Construção de barragem com uso de *scraper*.
Fonte: D'ÁVILA, 2010.

2.18. Recursos hídricos e segurança hídrica

Conforme a Declaração Ministerial de Haia sobre segurança hídrica no século 21 (2000) a água é vital para a vida, saúde das pessoas e manutenção dos ecossistemas, sendo um requisito básico para o desenvolvimento das nações. Apesar da enorme diversidade de necessidades e situações em todo o mundo, há um objetivo em comum: fornecer água em quantidade e qualidade adequada às populações no século 21. Isto significa assegurar a proteção e melhoria da água doce, para que todos tenham acesso a água em qualidade e quantidade suficiente por um custo acessível para uma vida saudável e produtiva. A declaração ressalta ainda que, para conseguirmos a segurança hídrica, é preciso enfrentar vários desafios entre os quais estão: satisfazer as necessidades básicas, com mais participação da sociedade na gestão das águas; assegurar o fornecimento alimentar com uso mais eficiente e alocação mais equilibrada da água para a produção de

alimentos; proteger os ecossistemas através da manutenção e da gestão sustentável dos recursos hídricos; gerenciar riscos, prover segurança contra enchentes, secas, poluição e outros eventos críticos relacionados com a água; e valorar a água de forma a levar em conta seu valor econômico, social, ambiental e cultural para todos os usos.

Tucci (2004), considera que as condições atuais de disponibilidade e demanda mostram que na média e, na maior parte do território brasileiro, não existe déficit de recursos hídricos. No entanto, observam-se situações desfavoráveis em períodos de estiagem no semi-árido brasileiro e em cidades de médio e grande porte. Ressalta, ainda, que as grandes concentrações brasileiras apresentam condições críticas de sustentabilidade, devido ao excesso de cargas de poluição doméstica e industrial e à ocorrência de enchentes urbanas, que contaminam os mananciais.

O conceito de disponibilidade de água significa que ela está presente não somente em quantidade adequada em uma determinada região, mas também que sua qualidade deve ser satisfatória para suprir as necessidades de um determinado conjunto de seres vivos (BRAGA et al., 2005).

2.19. Qualidade da água

A qualidade da água depende de suas características físicas, químicas e biológicas, sendo um conceito relativo, pois também depende da finalidade de uso. Para a irrigação, é considerada de qualidade adequada uma água com características específicas. Para Ayers e Westcot (1999), usos específicos podem ter diferentes requisitos de qualidade; assim, uma água pode ser considerada de melhor qualidade, se produzir melhores resultados, ou causar menos problemas; por exemplo: uma água de rio que pode ser considerada de boa qualidade para determinado sistema de irrigação pode, por sua carga de sedimentos, ser inaceitável para uso urbano, se não houver um tratamento para extrair partes de tais sedimentos.

Os requisitos de qualidade, que traduzem de uma forma generalizada e conceitual a qualidade desejada de uma água, estão associados ao seus usos previstos. De acordo com von Sperling (1996) para uso em irrigação de hortaliças, produtos ingeridos crus ou com casca a qualidade requerida da água é de ser isenta

de substâncias químicas e de organismos prejudiciais à saúde e salinidade não excessiva. Além dos requisitos de qualidade, há a necessidade de se estabelecer também padrões de qualidade, embasados por um suporte legal e da mesma forma que os requisitos, também os padrões são função do uso previsto para a água.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabelece diretrizes para o seu enquadramento. As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para seus usos prepoderantes, em treze classes de qualidade.

De acordo com esta Resolução, são consideradas águas doces quando a concentração de sais dissolvidos é igual ou inferior a 0,50‰; águas salobras com a salinidade superior a 0,50 ‰ e inferior a 30‰; e águas salinas com a salinidade igual ou superior a30‰. A tab.1 mostra a classificação das águas doces de acordo com os usos conforme Resolução n° 357 do CONAMA (2005).

Tabela 1. Classificação das águas doces de acordo com os usos (**Resolução n° 357 de 2005- CONAMA)**

USO	CLASSES				
	Especial	**1**	**2**	**3**	**4**
Abastecimento doméstico	X (a)	X (b)	X (c)	X (d)	
Preservação do equilibrio natural das comunidades aquáticas	X				
Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de concerv.de proteção integral	X				
Proteção das comunidades aquáticas		X	X		
Recreação de contato primário		X (e)	X (e)		
Irrigação		X (f)	X (g)	X (h)	
Proteção das conunidades aquáticas em Terras Indígenas		X			
Criação de espécies (aquicultura) e pesca			X		
Pesca amadora, recreação de contato secundário e dessedentação de animais				X	
Navegação					X
Harmonia paisagística					X

Nota:*(a) após desinfecção; (b) após tratamento simplificado; (c) após tramento convencional; (d)após tratamento convencional ou avançado; (e) conforme Resolução n° 274 CONAMA; (f) hortaliças consumidas cruas e frutas rentes ao solo; (g) hortaliças e plantas frutíferas; (h) culturas arbóreas e forrageiras.*

2.20. Alguns parâmetros de qualidade da água

De acordo com von Sperling (1996) os diversos componentes presentes na água, e que alteram o seu grau de pureza, podem ser retratados de uma maneira ampla e simplificada, em termos das suas características físicas, químicas e biológicas, traduzidas na forma de parâmetros de qualidade da água. As impurezas enfocadas do ponto de vista físico estão associadas, em sua maior parte, aos sólidos presentes na água. Estes sólidos podem estar em suspensão em estado coloidal ou dissolvidos, dependendo do seu tamanho.

Com relação às características químicas de uma água, estas podem ser interpretadas através de uma das duas classificações: matéria orgânica ou inorgânica. No que diz respeito às características biológicas, os seres presentes na água podem ser vivos ou mortos.

Utilizando a Resolução do CONAMA n°357 (2005) pode-se comparar as concentrações obtidas em análises com os limites máximos aceitáveis (ou mínimos para alguns constituintes) recomendados nessa legislação para cada constituinte da água, que são considerados analiticamente como “parâmetros químicos ou físicos”. Estes parâmetros são analisados dependendo do tipo, do uso preponderante e do destino dos ambientes hídricos, permitindo assim a avaliação da composição das águas e a identificação da intensidade da contaminação destas.

Na tab.2 são apresentados os limites para os parâmetros de um corpo d’água Classe 1 e ainda, os usos a que se destinam essas águas.

Tabela 2. Alguns parâmetros químicos, físicos e microbiológicos da Resolução do CONAMA- n° 357 (2005)

Parâmetros	Padrões – Classe 1	Águas Destinadas
DBO $_{5\ dias}$ a 20°C (mg/L O_2)	até 3	a) ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado;
OD (mg/L O_2)	não inferior 6	b) à proteção das comunidades aquáticas;
Tubidez (UNT)	até 40	c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), conforme Resolução CONAMA n°.274 de 2000;
pH	6,0 a 9,0	d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rente ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;
Cloretos (mg/L Cl)	até 250	e) proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.
Manganês (mg/L Mn)	até 0,1	
Sólidos dissolvidos (mg/L)	até 500	
Coliformes totais	Ausência em 100 ml *	
Coliformes fecais	Ausência em 100 ml *	

** De acordo com a Norma de qualidade da água para consumo humano - Anexo a Portaria n.° 1469 de 29 de dezembro de 2000.*

2.20.1. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

De acordo com Baumgarten (2001), a DBO é definida quimicamente como a quantidade de oxigênio necessário para estabilizar (oxidar) a matéria orgânica biodegradável presente na amostra analisada, com auxílio de microrganismos, principalmente bactérias decompositoras, incubadas num período de 5 dias a 20°C. Se a quantidade de matéria orgânica é pequena, as bactérias decompositoras necessitarão de pequena quantidade de oxigênio para decompô-la, então a DBO é baixa. A DBO é uma medida das necessidades respiratórias de uma população mocrobiológica que necessita de matéria orgânica como fonte de energia, considerando-se que o “tamanho” dessa população é proprocional à quantidade de materia orgânica presente na amostra.

2.20.2. Oxigênio dissolvido (OD)

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos. As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. Por outro lado, seu consumo ocorre pela decomposição de matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos como, por exemplo, o ferro e manganês (ESTEVES,1998).

A quantidade de matéria orgânica em um recurso hídrico propicia uma grande quantidade de bactérias decompositoras que consomem o oxigênio disponível no processo de estabilização, reduzindo significativamente sua concentração na água.

Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução da sua concentração no meio. Para von Sperling (1996), dependendo da magnitude deste fenômeno, podem vir a morrer diversos seres aquáticos, inclusive os peixes. Se o oxigênio for totalmente consumido, tem-se as condições anaeróbias (ausência de oxigênio), gerando maus odores. Por isso, o oxigênio dissolvido é vital para os seres aquáticos aeróbios e o principal parâmetro para a carcterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos. Este parâmetro é utilizado também para a caracterização de corpos d'água.

2.20.3. Turbidez

A turbidez representa o grau de interferência de partículas em suspensão e/ ou elementos em solução na passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. Segundo von Sperling (1996) sua origem pode ser natural como partículas de rocha, argila, silte, algas e outros microorganismos; e/ou de origem antrópica como de despejos domésticos, despejos industriais, e erosão.

A presença de partículas em suspensão, ou de substâncias em solução, pode concorrer para o agravamento da poluição. A turbidez limita a penetração de

raios solares, restringindo a realização da fotossíntese que, por sua vez, reduz a reposição do oxigênio (LIMA, 2001).

De acordo com Estrela (2008), a turbidez é um parâmetro físico e pode ser usado no intuito de medir a concentração de sedimentos em suspensão, sendo, portanto, um parâmetro relevante para a qualidade de água para irrigação.

2.20.4. Alcalinidade

De acordo com Baumgarten (2001), este parâmetro químico é definido como a medição da capacidade da água de neutralizar um ácido até um pH desejado. Excesso de alcalinidade é frequentemente acompanhado de excessiva elevação do pH e geralmente não é consequência da atividade humana. Em muitas regiões, alta alcalinidade no solo resulta em águas alcalinas na região.

Para von Speling (1996), a origem pode ser natural por dissolução de rochas, pela reação do CO_2 com a água (CO_2 resultante da atmosfera ou da decomposição da matéria orgânica) e também de origem antropogênica pela aplicação de despejos industriais. Sua importância está associada ao controle do tratamento de água, estando relacionada com a coagulação, a dureza e a corrosão em tubulações. No tratamento de esgoto, quando há evidências de que a redução do pH ocorre a acidificação do meio, podendo afetar os microorganismos responsáveis pela depuração. Para este autor a alcalinidade, o pH e o teor de gás carbônico estão interrelacionados.

2.20.5. Condutividade elétrica (CE)

A condutividade elétrica é a expressão numérica da capacidade da água em conduzir a corrente elétrica. Sendo dependente das concentrações iônicas e da temperatura, a CE indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes (CETESB, 2009). Os principais íons responsáveis pela salinidade das águas interiores sem

influência marinha são os nitratos, os sulfatos, os bicarbonatos, os cloretos, o potássio e o sódio (ESTEVES, 1998).

De acordo com Ayers e Westcot (1999) a qualidade da água de irrigação pode variar significativamente, segundo o tipo e a quantidade de sais dissolvidos. Os sais presentes na água doce encontram-se normalmente em quantidades relativamente pequenas, porém significativas, e originam-se da dissolução ou intemperização das rochas e solos, incluindo a dissolução lenta do calcário, do gesso e de outros minerais.

Baumgarten (2001) ressalta que as grandes diferenças entre os valores de salinidade nos ambientes aquáticos continentais é resultante de vários fatores, entre os quais destacam-se: a intensidade diferenciada da intemperização e composição das rochas e solos da bacia de drenagem; o grau de influência e composição das águas subterrânes; a precipitação atmosférica; o grau de influência marinha (através do lençol freático); e o balanço entre a evaporação e a precipitação.

A condutividade elétrica fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. A CE da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2009). Segundo Ayers e Westcot (1999), com relação a irrigação, os sais do solo e da água reduzem a disponibilidade da água para as plantas, a tal ponto que afetam os rendimentos dos cultivos.

2.20.6. Sólidos totais

Todos os contaminantes da água, com execeção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos. Os sólidos podem ser classificados de acordo com as suas características físicas (tamanho e estado – sólidos em suspensão, coloidais e dissolvidos) ou com as suas características químicas (sólidos orgânicos e inorgânicos) (VON SPERLING,1996). De acordo com o mesmo autor, ao se submeter os sólidos a uma temperatura elevada (550ºC), a fração orgânica é

volatilizada, permanecendo após combustão apenas a fração inorgânica ou mineral (não volátil, fixo ou inerte).

Em relação ao tamanho, os sólidos se dividem quanto ao seu diâmetro em: sólidos dissolvidos (sais e matéria orgânica, com diâmetro inferior a $10^{-3}\mu m$), coloidais (argilas, vírus e algumas bactérias, com diâmetro entre 10^{-3} e $10\mu m$) e suspensos (areia, silte, microorganismos e restos de pequenos animais e vegetais, com diâmetro superior a 10 μm) (VANZELA, 2004). Os sólidos sedimentáveis correspondem à fração dos sólidos que se sedimenta após uma hora de repouso, os sólidos voláteis correspondem à fração que se volatiliza com temperaturas elevadas, de modo que à fração orgânica é volatilizada, permanecendo após combustão apenas a fração inorgânica (VON SPERLING, 1996).

De acordo com Carvalho (1994), em águas naturais, a concentração de sólidos tem origem no processo de erosão natural dos solos e no intemperismo da rochas, impactando sensivelmente os mananciais hídricos e alterando as características físicas e químicas da água. Braga et al. (2005), ressaltam que as práticas agrícolas exercem influência direta na concentração de sólidos de um manancial, sendo que as perdas de solo por erosão, em plantio de grãos como o feijão, arroz, soja e milho, chegam a 23,8 t/ha ano, em média, constituindo uma das principais contribuições de sólidos do meio rural no Brasil.

2.20.7. Sólidos dissolvidos

Os sólidos dissolvidos são constituídos de sais e matéria orgânica, provenientes da drenagem superficial de áreas rurais e apresentam como possível efeito poluidor a salinidade excessiva da solução do solo, causando prejuízo às culturas irrigadas, tais como toxides nas plantas (alguns íons) e problemas de permeabilidade no solo (sódio). No entanto, dificilmente ocasionam obstruções físicas nos equipamentos dos sistemas de irrigação. Em certos casos pode haver interação com outros sais formando precipitados ou favorecendo o acúmulo de lodo, ocorrendo a obstrução de emissores (NAKAYAMA e BUCKS,1986).

2.20. 8. Sólidos suspensos

As concentrações de materiais em suspensão na água são bastante variáveis no espaço e no tempo, estando na dependência da hidrodinâmica, da construção do substrato de fundo e das margens do meio aquático e ainda de fatores meteorológicos como os ventos, entre outros, já que estes tedem a aumentar a concentração dos sólidos suspensos pela deposição de particulados nas superfícies livres de corpos hídricos (BAUMGARTEN, 2001).

Altas concentrações de material em suspensão limitam a qualidade de uma água bruta, por terem relação com a turbidez, dureza, salinidade e corrosão. Influem no aspecto estético, causando diminuição do percentual de visibilidade e alteram a natureza do sedimento do fundo. Também causam danos na fauna e flora aquática e diminuem a penetração da luz na água, prejudicando a fotossíntese do fitoplâncton, das algas e da vegetação submersa (BAUMGARTEN, 2001).

Os sólidos suspensos, em altas concentrações constituem-se em um dos principais problemas de qualidade de água para irrigação, pois podem ocasionar sérios problemas de obstrução física em sistemas de irrigação localizada (VANZELA, 2004).

2.21. Poluentes da água e suas fontes

Para Lima (2001), os conceitos de qualidade da água e poluição estão comumente interligados. A qualidade da água reflete sua composição quando afetada por causas naturais e por atividades antropogênicas. A poluição, entretanto, decorre de uma mudança na qualidade física, química, radiológica ou biológica do ar, da água ou do solo, causada pelo homem ou por outras atividades antropogênicas que podem ser prejudiciais ao uso presente, futuro e potencial do recurso.

A poluição de águas pode ser considerada como adição de substâncias ou formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os usos que dele são feitos. Existem basicamente duas formas em que a fonte de poluição pode atingir os recursos

hídricos: as fontes de poluição pontual e difusa. Na fonte de poluição pontual, os poluentes atingem o manancial de água de forma concentrada no espaço, como exemplo temos os despejos de esgoto industrial ou de esgoto urbano em um determinado local. Este tipo de fonte é fácil de ser identificada e monitorada. Na forma difusa, os poluentes contaminam os mananciais de água distribuídos ao longo de parte de sua extensão, como exemplo, temos a poluição veiculada pela drenagem pluvial natural que espalha-se por vários locais e é difícil de ser determinada, em decorrência das suas descargas e pela abrangência em extensas áreas agrícolas e urbanas, ocorrendo uma descarga de forma distribuída e não concentrada em um único ponto (VON SPERLING, 1996). De acordo com o mesmo autor os parâmetros de DBO, OD, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e sólidos totais, nitrogênio, fósforo entre outros, estão relacionados à poluição inerente a situações que envolvem ações antrópicas, sejam no âmbito urbano (esgoto doméstico, drenagem superficial), industrial ou agrícola (mau uso do solo, drenagem superficial com dejetos de animais, etc.), em prejuízo ao meio ambiente.

Segundo Lima (2001), a severidade da poluição não é determinada apenas pela concentração desses poluentes, mas pela capacidade de assimilação dos corpos d'água, que dependem das interações entre condições físicas, químicas e biológicas desse ambiente. A ação antropogênica sobre o meio aquático tem despontado como uma das maiores responsáveis por essas alterações, considerando que os rios vêm sendo, ao longo dos anos, utilizados como depositários de rejeitos.

2.22. Análise de componentes principais (ACP)

A análise de componentes principais (ACP) é uma ferramente de análise multivariada de dados que consiste numa informação linear de todas as variáveis originais em novas variáveis, de tal modo que a primeira nova variável computada seja responsável pela maior parte da variação possível existente no conjunto de dados, a segunda pela maior variação possível restante, e assim por diante até que toda a variação do conjunto tenha sido explicada (BERNARDI et al., 2009). Na estatística tradicional de variáveis independentes, há uma exigência de que o número de amostras deva ser significativamente maior que o número de variáveis.

Porém, este princípio não se aplica à ACP, que é um método para dados de análise fixa com variáveis fortemente correlacionadas (WOLD; ESBENSEN; GELADI, 1987; KVALHEIM, 1998).

Para Klefens (2009) algumas técnicas estatísticas multivariadas envolvem todas as relações entre os conjuntos de variáveis. No entanto, a análise dos componentes principais concentra relacionamentos dentro de um único conjunto de variáveis. Esta técnica é usada para reduzir a dimensionalidade do conjunto de variáveis, ou seja, para descrever os indivíduos ou objetos em termos de um número menor de variáveis não correlacionadas com pouca perda de informação tanto quanto possível, embora mantendo o máximo de informações da variável presente no conjunto de dados originais.

Para Moroco (2003) a análise de componentes principais é uma técnica de análise exploratória multivariada que transforma um conjunto de variáveis correlacionadas num conjunto menor de variáveis não correlacionadas, utilizando combinações lineares das variáveis originais.

Os componentes principais podem ser usadas como critério de predição ou variáveis em análise posteriores.

3. METODOLOGIA GERAL

Este trabalho foi desenvolvido no município de Turuçu-RS e teve como referência o projeto elaborado e implementado conforme Relatório Técnico por Timm et al. (2009). No período de execução desse projeto foram instalados tensiômetros em doze (12) lavouras de morango pertencentes a produtores integrantes da Associação dos Produtores de Morango de Turuçu-RS, no intuito de avaliar o manejo de irrigação adotado por cada produtor ao longo do ciclo do morango no ano de 2007. Dois tensiômetros foram instalados no centro do canteiro de morango, profundidade de 200 mm, sendo as leituras de tensão (em mmHg) realizadas e anotadas, diariamente, em planilhas previamente distribuídas aos produtores. Em local próximo de cada lavoura também foram instalados pluviômetros.

A partir dos dados coletados pelos produtores nos meses de setembro e dezembro de 2007 e de informações das curvas de retenção de água no solo obtidas do trabalho desenvolvido por Bamberg (2010), foi avaliado o comportamento espacial e temporal, na camada de 0-200 mm de profundidade, dos parâmetros físico-hídricos do solo (capacidade de água disponível e armazenamento de água) relacionados ao manejo de irrigação adotado nas 12 lavouras de morango. Este estudo é apresentado no Capítulo 1.

No Capítulo 2 é apresentado um estudo realizado em pequenas barragens de terra, mais especificamente, em duas pertencentes a produtores integrantes da Associação acima mencionada e que possuíam em suas propriedades reservatórios artificiais construídos a partir de barramentos em terra. Estas fontes de captação foram caracterizadas e analisadas por meio de levantamentos de dados físicos e coleta de amostras de solo dos barramentos para desenvolvimento de estudos geotécnicos dos maciços, na crista e no talude a jusante do barramento. Foram realizados os seguintes ensaios geotécnicos: análise granulométrica, ensaios de pastilhas e resistência a seco de acordo com a metodologia de Nogami e Villibor (1994), além de condutividade hidráulica *in situ* nos maciços de terra das barragens.

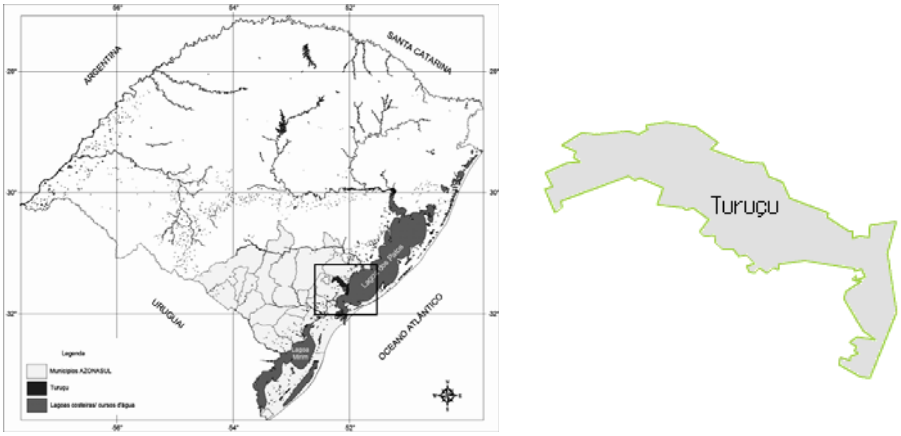
No Capítulo 3 foi aplicado o método de análise dos componentes principais (ACP) no estudo das correlações entre os parâmetros de qualidade da água de irrigação avaliados por Estrela (2008) ao longo do tempo e do espaço em 14 fontes de captação pertencentes as propriedades de produtores da mesma Associação. Também foi avaliada a possível correlação entre os parâmetros de qualidade da água com os diferentes tipos de mananciais usados como fonte de captação na irrigação do morango, com as micro-regiões em que se localizavam e com os dados de precipitação antecedente à data de coleta das amostras de água.

3.1. Caracterização da área de estudo

3.1.1. Localização

O município de Turuçu situa-se no sudeste da Região Sul do estado do Rio Grande do Sul, estando a uma altitude média de 30 metros, e com uma distância de 179 km de Porto Alegre, 20 km de São Lourenço do Sul e 40 km de Pelotas. A população total estimada do município, que possui uma área territorial de 254,93 km², é de 3.522 habitantes de acordo com dados do Censo Demográfico do IBGE em 2010 publicado no Diário Oficial do dia 04/11/2010.

A Fig. 13 mostra a localização do município de Turuçu no estado do Rio Grande do Sul (a) e o mapa do município (b).



(a) (b)

Figura 13. Localização do município de Turuçu: a) Turuçu no mapa do Rio Grande do Sul; b) mapa do município de Turuçu.

Fonte: (a) IBGE, 2010; (b) FAMURS, 2009.

3.1.2. Recursos hídricos

O município de Turuçu localiza-se na Região Hidrográfica do Litoral, sendo 71% na área da Bacia Hidrográfica Piratini-São Gonçalo-Mangueira que situa-se no sudeste do estado do Rio Grande do Sul (31°30' e 34°35' S e 53°31'O) e 29% na área da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã que situa-se na região central do estado (28°50' e 30°00 S e 52°15'00 O), (FEPAM, 2010).

O município de Turuçu tem seu território delimitado por dois corpos hídricos: o Arroio Turuçu, que delimita o território com o município de São Lourenço do Sul e o Arroio Corrientes que delimita o território do município de Turuçu com o município de Pelotas, conforme Fig. 14.

Figura 14. Hidrografia do município de Turuçu-RS.
Fonte:TAGLIANI, 2007.

3.1.3. Clima

O clima no Rio Grande do Sul caracteriza-se por apresentar estações bem definidas e boa distribuição de chuvas, sem que se defina a existência de um período seco ao longo de um ano normal de acordo com IBGE (1986, apud ESTRELA, 2008). Os totais médios de precipitação distribuem-se, de um modo geral, desde valores inferiores a 1.400 mm na metade sul do RS até valores superiores a 1.900 mm no Alto Vale do Rio Uruguai, extramo norte do estado

(MATZENAUER, 2007). A temperatura média anual no estado fica abaixo de 20ºC, chegando a menos de 14ºC nas maiores altitudes. As médias das temperaturas mínimas do mês de julho são inferiores a 10ºC, sendo que no inverno as geadas são comuns. No verão as médias das temperaturas máximas são bem elevadas atingindo 30ºC a 32ºC. A tab.3 mostra as normais climatológicas para a região de Pelotas referente ao período de 1971 até o ano 2000, que são normalmente as adotadas para o município de Turuçu já que existe carência de dados do mesmo (ESTRELA, 2008) .

Tabela 3 Normais climatológicas mensais do período 1971/2000 para região de Pelotas-RS

VARIÁVEIS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Temperatura Média (°C)	23,2	23	21,7	18,5	15,1	12,4	12,3	13,4	14,9	17,5	19,6	22	17,8
Precipitação Pluviométrica (mm)	119,1	153,3	97,4	100,3	100,7	105,7	146	117,4	123,7	100,7	99,5	103,2	1366,9
Precipitação Máxima em 24 horas (mm)	82	188,2	126,8	134	86	95	109,8	92,2	92	74,7	81,6	152	188,2
Velocidade Máxima do Vento (m s^{-1})	23	25,2	25	25,5	23,5	26	23	28	30	27,2	26,2	27,2	30
Direção do Vento na Velocidade Máxima	SW	S	SW	SW	NE	S	SW	NE	NE	NE	S	SW	NE

Fonte: EMBRAPA (IFPel e INMET).

De acordo com os dados da tab.3, pode-se observar que: a temperatura média anual é de 17,8°C e que a temperatura média mensal mais elevada é no mês de janeiro com 23,2°C e a mais baixa é no mês de julho com 12,3°C; a média mensal mais elevada de precipitação pluviométrica está no mês de fevereiro com 153 mm, seguido do mês de julho com 146 mm, e no mês de março o menor valor com 97,4 mm, sendo que ocorreu pequenas variações nas médias mensais das precipitações durante todo o ano, o total anual da precipitação média é de 1.366,9 mm; a precipitação máxima em 24 h ocorreu no mês de fevereiro com 188,2 mm; a direção predominante do vento nas velocidades máxima foi a NE no mês de setembro (30 m s^{-1}), julho (28 m s^{-1}) e outubro (27,2 m s^{-1}) seguidos da direção SW com velocidades menores.

3.1.4. Aspectos geológicos e geomorfológicos de Turuçu-RS

O município de Turuçu encontra-se na área de transição do escudo sulriograndense para a planície costeira, abrangendo unidades geológico-geomorfológicas de ambas as formações (TAGLIANI, 2007). A oeste do perímetro urbano encontra-se a borda oriental do cinturão Dom Feliciano de idade pré-cambriana, unidade geológica mais antiga do município. Nesta área está localizado o ponto mais alto com 220 m acima do nível médio do mar. Nesta unidade geológica ocorrem as maiores declividades, podendo alcançar valores maiores que 20% (ESTRELA, 2008).

De acordo com o que está descrito no Plano Ambiental de Turuçu, que seguiu a lógica proposta por Sombroek em 1969, na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim os solos foram agrupados em função de uma sequência geomorfológica regional, que abrange desde a borda das lagoas até os platôs rochosos conservados do planalto (TAGLIANI, 2007). Na Fig.15 observa-se que basicamente a região é composta por três zonas: baixa, média e alta.

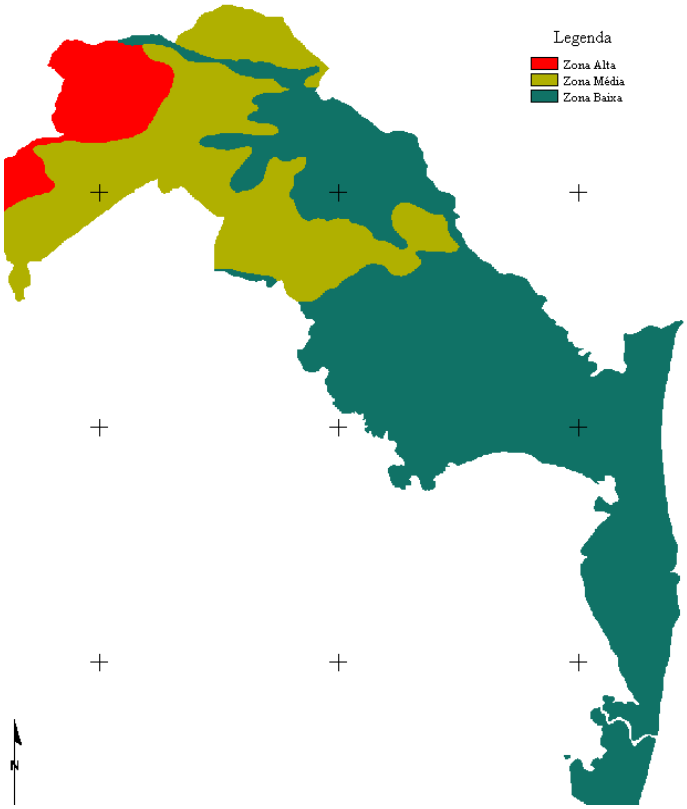


Figura 15. Ilustração das três zonas diferenciadas em função da sequência geomorfológica do município de Turuçu-RS.

Fonte: TAGLIANI, 2007.

3.1.5. Solos de Turuçu-RS

De acordo com Bamberg (2010), as áreas que são utilizadas para a produção de morango em Turuçu, estão situadas em locais de relevo predominantemente suave ondulado a ondulado e, em algumas situações, com relevo forte ondulado associado à presença de afloramentos rochosos. Conforme Islabão (2009), os solos de Turuçu-RS, em função da sequência geomorfológica, se encontram em três zonas que apresentam características distintas: a) a zona baixa engloba as terras sedimentares quaternárias próximas a Lagoa Pequena e ao longo das planícies de inundação dos rios Turuçu e Corrientes, onde ocorrem os solos do tipo Gleissolo Melânico, Planossolo Háplico, Neossolo Quartzarênico e Neossolo Flúvico; b) a zona média compreende as terras do planalto rebaixado marginal e depósitos sedimentares antigos que desenvolvem um relevo suave ondulado que tende a ondulado no contato com as terras altas. Nesta zona predominam os solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo; e c) na zona alta, que compreende o planalto residual Canguçu-Caçapava, o tipo de solo Argissolo Bruno-Acinzentado é o predominante (Fig. 16).

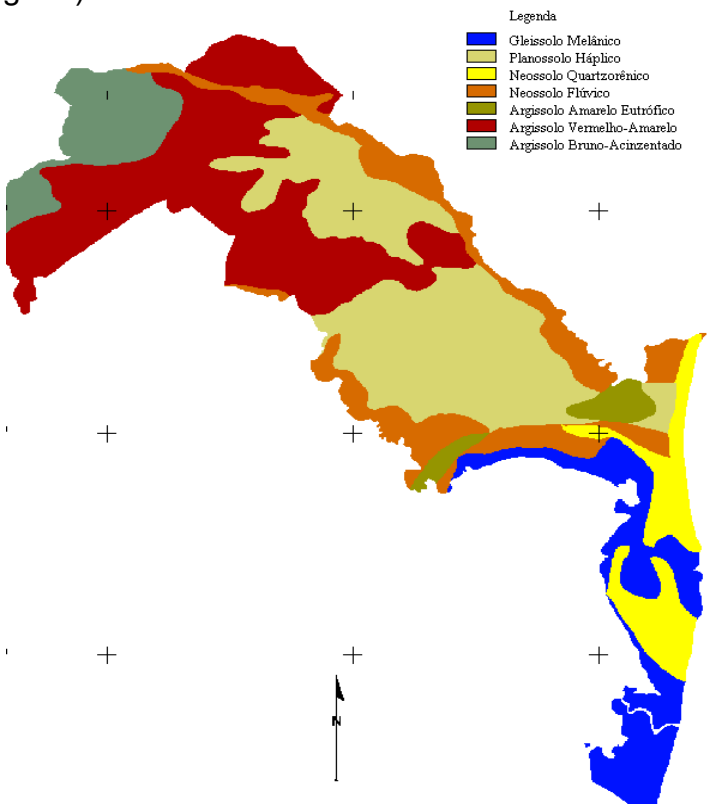


Figura 16. Mapa dos diferentes tipos de solos encontrados no município de Turuçu-RS.
Fonte: TAGLIANI, 2007.

3.2. Aspectos gerais da cultura do morango em Turuçu-RS

Conforme Madail et al. (2005), o morangueiro é uma espécie olerícola, enquadrada popularmente no rol das pequenas frutas, que se destaca pelo aspecto atraente e sabor diferenciado, quando consumida "in natura" ou através de múltiplas maneiras de processamento.

A cultura do morangueiro era encontrada em pequena escala no município de Turuçu, mas a partir do ano de 2001 começou a se tornar uma importante atividade de geração de renda devido aos incrementos tecnológicos na produção (utilização de túneis plásticos, do sistema de irrigação por gotejamento, da fertirrigação, dentre outros), organização dos produtores e a busca de novos mercados para a fruta (ISLABÃO, 2009). Nos dias atuais o município de Turuçu destaca-se na produção de morango do estado, onde são desenvolvidas atividades de produção e comercialização do produto “in natura” e processado, tornando-se uma atividade extremamente importante para o desenvolvimento econômico local.

Outro aspecto relevante que ressalta a importância da cultura do morango na região é que este contribui para que o trabalhador rural permaneça na região. O técnico Philipsen da EMATER comenta em AZONASUL (2007) que a boa renda obtida pelos produtores de setembro a janeiro, período em que termina o ingresso do dinheiro do fumo, atrai novos produtores e outros que resolvem retornar á atividade depois de alguns anos afastados. Também ressalta que a cultura teve um salto de qualidade quando começaram a ser utilizadas as mudas importadas do Chile e Argentina. Além disso, a atividade conquista produtores cada vez mais jovens, que resolvem seguir os passos dos pais e avós. Em algumas propriedades é comum também ver famílias, com mais de três gerações, envolvidas na produção do morango. O sistema de produção da cultura do morangueiro em Turuçu é caracterizado pelo plantio de mudas das variedades Camarosa e Camino Real, em pequenas extensões de terra (menos que 1 ha) com mão-de-obra familiar.

As mudas são transplantadas, para canteiros de 0,80 m a 1,00 m de largura, sendo dispostas em 2 a 3 fileiras com espaçamento de 0,30 m. O sistema conta com irrigação por gotejamento e, na maioria das vezes, é realizada a aplicação de fertilizantes via água de irrigação (fertirrigação) durante o ciclo da cultura que se encerra em dezembro, na maior parte das propriedades. Pelo fato dos canteiros

utilizados para a produção de morango serem cobertos com lona plástica, os frutos raramente tem contato direto com a água de irrigação, problemas de qualidade de água e qualidade do fruto não são evidentes. Entretanto, devido as características anteriormente mencionadas, a qualidade da água usada na produção de morangos pode afetar alguns atributos do solo bem como o funcionamento adequado do sistema de irrigação por gotejamento (BAMBERG, 2010).

3.3. Propriedades rurais que participaram deste estudo

Os produtores que participaram do projeto "Variabilidade espacial e temporal da qualidade da água de irrigação e seu impacto ambiental no sistema familiar de produção do morango do pólo produtivo do município de Turuçu-RS", foram selecionados em conjunto com os técnicos do escritório local da EMATER/Turuçu-RS (TIMM et al., 2009). Inicialmente foram escolhidos 15 agricultores familiares que utilizam a técnica de irrigação na cultura do morangueiro, sendo utilizados os seguintes critérios durante o processo de seleção:

- ser membro da Associação de Produtores de Morango de Turuçu;
- produzir morangos a mais de duas safras;
- ter somente um representante de cada família participando do projeto;
- localizar-se no território com maior aptidão à cultura do morango, ou seja, regiões de maior altitude que apresentavam condições climáticas mais adequadas à produção de morangos.

Baseado nos critérios acima expostos, foram selecionados os produtores de maneira a representar todo o território do município que apresentava maior aptidão para a produção de morangos, como mostra a Fig.17.

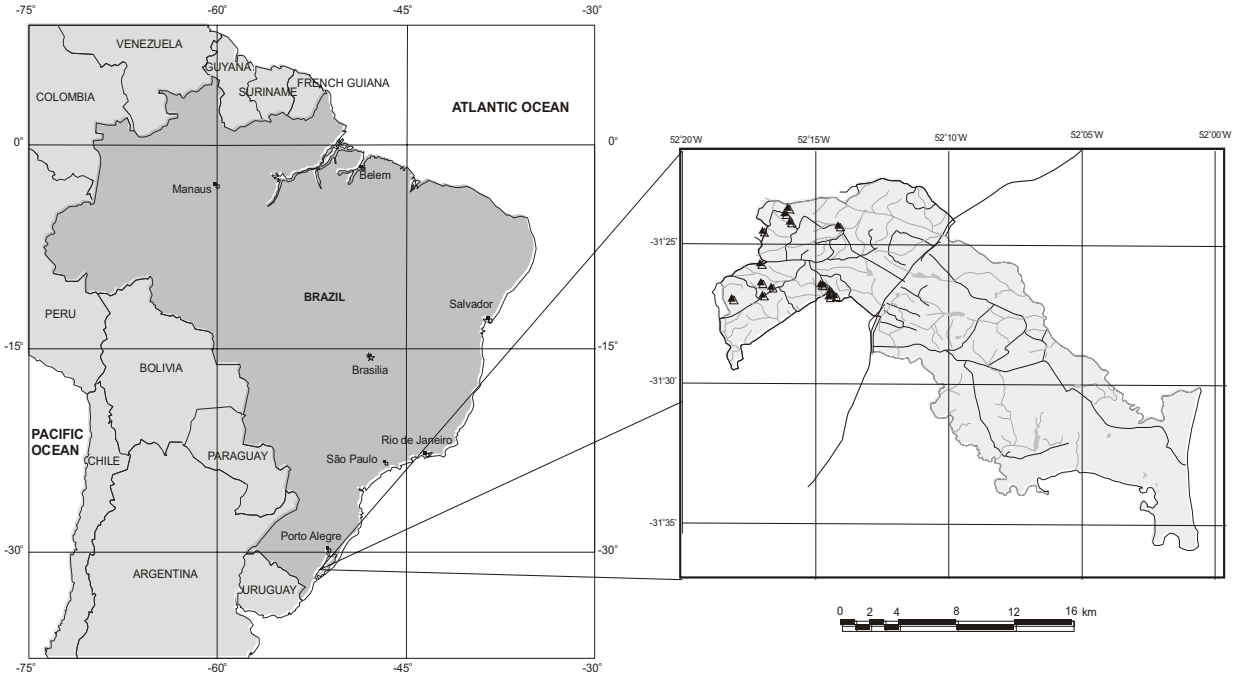


Figura 17. Localização das 15 lavouras de produção de morango no município de Turuçu-RS, Brasil.
Fonte: BAMBERG, 2010.

Na tab. 4 estão indicadas as coordenadas geográficas das sedes das propriedades e das fontes de captação de água utilizadas para irrigação, distribuídas nas três Micro-regiões com maior aptidão à cultura do morangueiro.

Tabela 4. Coordenadas geográficas referentes à localização das propriedades distribuídas nas três micro-regiões e das fontes de captação de água utilizadas para irrigação.

	Coordenadas da Sede	Coordenadas da Fonte de Captação
Micro-região São Domingos		
Propriedade 2 (P2)	31°23´54,7" S 52°16´00,0" O	31°23'59,4" S 52°15'56,2" O
Propriedade 3 (P3)	31°24'13,9" S 52°15'46,9" O	31°24'13,1" S 52°15'45,3" O
Propriedade 4 (P4)	31°23´44,5" S 52°15´52,1" O	31°23'53,0" S 52°15'47,6" O
Propriedade 5 (P5)	31°24´20,5" S 52°13´59,8" O	31°24'18,8" S 52°14' 00,0" O
Propriedade 11(P11))	31°24'33,6" S 52°16'47,6" O	31°24'48,4" S 52°16'27,5" O
Micro-região Centenário		
Propriedade 6 (P6)	31°26´50,5" S 52°14´07,5" O	31°26'48,1" S 52°14'10,6" O
Propriedade 7 (P7)	31°26´54,4" S 52°14´20" O	
Propriedade 8 (P8)	31°26´40,3" S 52°14´17,6" O	31°26'41,8" S 52°14'24,7" O
Propriedade 9 (P9)	31°26´25,5" S 52°14´32,7" O	31º26'25,6" S 52º14'29,4" O
Propriedade 10 (P10)	31°26´25,0" S 52°14´36,7" O	31°26'26,1" S 52°14'40,7" O
Micro-região Picada Flor		
Propriedade 1 (P1)	31°25'42,4" S 52°16'52" O	31°25'39,8" S 52°16'54,8" O
Propriedade 12 (P12)	31°26´50,1" S 52°16´45,1" O	31°26´55,9" S 52°16´41,7" O
Propriedade 13 (P13)	31°26'23,5" S 52°16'49,0" O	31°26' 26,7" S 52°16' 51,7" O
Propriedade 14 (P14)	31°27'09,10" S 52°18'29,83" O	31°26'55,83" S 52°16'43,32" O
Propriedade 15 (P15)	31°27'12,97" S 52°18'29,49" O	31°27'08,57" S 52°18'26,44" O

Fonte: TIMM et al., 2009.

4. CAPÍTULO 1 – AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESPACIAL E TEMPORAL DA CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL E DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO EM 12 LAVOURAS DE MORANGO NO MUNICÍPIO DE TURUÇU-RS

4.1. Introdução

Uma das principais atividades econômicas desenvolvidas no município de Turuçu, localizado no estado do Rio Grande do Sul, é a produção e a comercialização de morango “in natura” que têm propiciado aos produtores uma boa rentabilidade constituindo-se, portanto, em instrumento de geração de renda e emprego, de inclusão social e consequentemente de incremento no padrão de qualidade de vida dentro destas propriedades rurais (ISLABÃO, 2009).

Na maioria das lavouras de morango em Turuçu, de acordo com Strassburger et al. (2009), o sistema de produção é caracterizado pela utilização de cobertura do solo com plástico de coloração preta, pela utilização de túneis baixos e pelo sistema de irrigação por gotejamento com aplicação de fertilizantes via água de irrigação (fertirrigação).

Bamberg (2010) menciona que os agricultores no município de Turuçu utilizam a irrigação por gotejamento devido à menor quantidade e à maior eficiência na aplicação de água ao solo, quando comparado com outros sistemas de irrigação, já que a redução das perdas de água por percolação profunda resulta no aumento da eficiência da utilização da água e do solo. O mesmo autor salienta que o emprego da cobertura plástica do solo aumenta ainda mais a eficiência do sistema de irrigação por gotejamento devido à redução das perdas de água por evaporação.

Para Ronque (1998), o morangueiro é uma planta muito exigente quanto a necessidade de água, a qual muitas vezes não pode ser suprida somente por meio do regime normal de chuvas. Neste sentido, a irrigação pode suprir as necessidades hídricas do morangueiro e o seu manejo adequado pode reduzir o risco

fitossanitário, proporcionando um aumento da sua produtividade e uma melhoria na qualidade do fruto. Pires (1998) destaca que para o planejamento e o manejo adequado da água na irrigação é necessário o levantamento de alguns parâmetros básicos do solo, do clima e da planta, tais como o conteúdo de água no solo, estimativa da demanda evaporimétrica, características do desenvolvimento das plantas e sensibilidade ao estresse hídrico.

Quanto a disponibilidade de água no solo para as plantas, Van Lier (2010) indica quatro faixas assim definidas: 1. *Solo muito úmido* (com conteúdo de água que excede a "capacidade de campo"); 2. *Solo úmido* (conteúdo de água entre a "capacidade de campo e o conteúdo crítico de água"); 3. *Solo seco* (conteúdo de água entre o "conteúdo crítico de água" e o "ponto de murcha permanente"); e 4. *Solo muito seco* (conteúdo de água menor do que no "ponto de murcha permanente").

De acordo com Strassburger et al. (2009), para que o morangueiro expresse o seu potencial produtivo, é necessário que as condições adequadas de cultivo sejam proporcionadas, tornando-se fundamental a manutenção da umidade do solo dentro das exigências da cultura. O déficit hídrico, assim como o excesso por períodos de tempo prolongados, pode causar danos irreversíveis à planta, reduzindo sua produtividade.

Para Martins et al. (2010), a água no solo encontra-se sob tensão devido aos fenômenos de capilaridade e de adsorção oriundos das forças coesivas e adesivas que se desenvolvem dentro e entre as fases do solo. Essa tensão resultante da afinidade da água com a matriz do solo também pode ser expressa em termos de potencial mátrico. Esse potencial pode ser medido por meio de tensiômetros, instrumentos que tem sido usados com sucesso para monitorar o potencial de água no solo (tensão de água no solo) para fins de manejo da irrigação.

Pires et al. (2006) desenvolveram um estudo onde foram instalados dois experimentos, um em ambiente protegido (estufa coberta com 7 m de largura e 50 m de comprimento) e o outro em campo aberto, para avaliar o crescimento vegetativo e a produção do morangueiro, cultivar Campinas IAC-2712, sob diferentes níveis de irrigação e cobertura do solo (polietileno preto e transparente). Três níveis de potenciais de água no solo foram adotados a fim de determinar o momento de irrigação, correspondendo aos potenciais de -0,010, -0,035 e -0,070 MPa,

monitoradas por meio de tensiômetros instalados a 0,10 m de profundidade. Os autores concluíram que o cultivo em ambiente protegido, nos níveis de potenciais de -0,010 e -0,035 MPa e a utilização da cobertura de polietileno transparente favoreceram variáveis de crescimento vegetativo do morangueiro (altura da planta, máxima dimensão horizontal da planta e índice de área folhar), a produção de frutos comercializáveis, maior número de frutos por planta e maior peso médio por frutos. No cultivo em campo aberto não foi observado o efeito ds diferentes potenciais devido à ocorrência de chuvas durante o período experimental.

Costa (2011) conduziu um experimento no interior de uma casa de vegetação (modelo arco) construída em uma área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA) - Lavras/MG, que teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes tensões de água no solo sobre a produção e a qualidade dos frutos de duas cultivares de morangueiro (Oso Grande e Aromas), irrigadas por gotejamento. O autor concluiu que deve-se irrigar no momento em que a tensão de água no solo estiver em torno de 23 kPa, a profundidade de 0,15 m, em ambas as cultivares para a obtenção de um maior número de frutos por planta e uma maior produtividade.

Conforme Bernardo, Soares, e Mantovani (2006), a frequência de irrigação requerida para uma cultura, sob determinado clima, depende da quantidade de água que pode ser “armazenada” no solo, após uma irrigação. Os mesmos autores indicam que a capacidade de retenção de água na zona radicular depende, basicamente, da textura e da estrutura do solo, da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura e da profundidade da camada do solo.

Diante dos argumentos supracitados verifica-se que o manejo da irrigação é de suma importância no desenvolvimento da cultura do morangueiro, não se tratando somente do fornecimento de água à cultura de uma forma empírica, mas sim de uma operação integrada às práticas culturais, às necessidades da cultura e ao clima da localidade, buscando-se uma interação maior com os componentes do sistema solo-água-planta-atmosfera.

Para conhecer de uma forma mais aprofundada como os produtores de morango executam o manejo da água no sistema de irrigação por gotejamento, este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento espacial e temporal da capacidade de água disponível no solo e do armazenamento de água no solo, na

camada de 0-200 mm, de doze lavouras de morango localizadas no município de Turuçu-RS.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Área de estudo

Este trabalho foi desenvolvido em 12 propriedades rurais do município de Turuçu (31°27’ a 31°42’ S e 52° 13’ a 52° 17’ O) que está localizado na região sul do estado do Rio Grande do Sul, em uma altitude variando de 100 a 450 m. A temperatura média regional é de 17,8 °C e a precipitação média anual é de 1.367 mm (BAMBERG, 2010). Nas propriedades onde foi desenvolvido o presente estudo predomina o sistema de produção agrícola familiar, tendo-se como principais atividades a pecuária leiteira, a produção de frutíferas, de fumo e de pimenta vermelha, destacando-se a produção de morango que vem ocupando uma importância cada vez maior no município. Segundo Bamberg (2010) as propriedades estão situadas na transição entre o Escudo Sul-rio-grandense e a Planície Costeira Interna. Argissolos, Cambissolos e Gleissolos são os três grandes grupos de solos encontrados nas lavouras desse estudo.

O sistema de produção de morango em Turuçu é caracterizado pelo plantio de mudas, sendo a Camino Real e a Camarosa as principais cultivares utilizadas nesta região. A lavoura de morango tem sido implantada em pequenas extensões de terra (menos de 1ha) empregando mão-de-obra familiar.

4.2.2. Caracterização da área de estudo

De acordo com a descrição de Bamberg (2010), o solo das lavouras de morango foi inicialmente lavrado e depois revolvido com enxada rotativa encanteiradora movida por trator. Canteiros com dimensões que variavam de 0,80 a 1,00 m de largura, aproximadamente 0,20 m de altura e com diferentes

comprimentos foram construídos em áreas que variavam de 0,10 a 0,50 ha. As mudas de morango foram dispostas em duas a três fileiras nos canteiros previamente cobertos com lona plástica preta. Túneis baixos de plástico translúcido foram utilizados para cobrir os canteiros durante o inverno, evitando efeitos adversos de baixas temperaturas. A Fig. 18 ilustra, respectivamente, os túneis baixos de plástico e os canteiros cobertos com lona plástica preta utilizada na produção de morango.

(a) (b)

Figura 18. Canteiros com morangueiro em Turuçu-RS: a) túneis baixos de plástico utilizados na lavoura de morango; b) canteiros cobertos com lona preta.

4.2.3. Atributos físico-hídricos do solo importantes no manejo da irrigação

A classificação do tipo de solo em cada uma das 12 propriedades bem como a respectiva classe textural, os valores da porosidade total (%), macro (%) e microporosidade do solo (%), do conteúdo de água no solo referentes a capacidade de campo (θ_{cc}, cm^3cm^{-3}) e ao ponto de murcha permanente (θ_{PMP}, cm^3cm^{-3}) foram extraídos de Bamberg (2010) e são apresentados na tab. 5.

Em cada lavoura, na faixa de profundidade de 0 a 200 mm, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada para a elaboração das curvas de retenção de água no solo no laboratório. As amostras foram submetidas às tensões de 10, 60, e 102 cmH_2O utilizando uma mesa de tensão e tensões de 340, 1.020 e 15.300 cmH_2O utilizando câmaras de pressão de Richards. A partir dos dados experimentais de tensão versus conteúdo de água, foram obtidos os parâmetros de

ajustes do modelo de van Genuchten (1980) utilizando o software “Soil Water Retention Curve” (SWRC), (DOURADO-NETO et al.,1996). Os valores dos parâmetros de ajuste do modelo são apresentados nas tabelas 5 e 6 para os meses de setembro e dezembro de 2007. Tais informações fazem parte deste estudo pois são fundamentais para o manejo da irrigação.

Tabela 5. Classificação do solo e respectiva classe textural, atributos físicos e hídricos do solo na camada de 0–200 mm em 12 lavouras de morango para os meses de setembro e dezembro de 2007

Propriedades	Classificação do Solo	Classe Textural	Mês de Setembro					Mês de Dezembro				
			θ_{cc} (cm^3cm^{-3})	θ_{PMP} (cm^3cm^{-3})	Ma %	Mi %	Pt %	θ_{cc} (cm^3cm^{-3})	θ_{PMP} ($cm^3 cm^{-3}$)	Ma %	Mi %	Pt %
1	AAC	FA	0,200	0,097	22,28	22,63	44,92	0,220	0,106	14,91	23,33	38,54
2	AAC	FA	0,193	0,093	28,32	21,21	49,53	0,214	0,109	21,87	24,32	46,19
4	AAC	FA	0,186	0,065	20,92	20,06	40,98	0,203	0,063	17,12	22,75	39,87
5	AV	FA	0,189	0,070	21,57	20,26	41,83	0,160	0,090	21,87	18,19	40,06
6	G	F	0,219	0,090	20,75	23,23	43,99	0,226	0,098	17,59	25,05	42,64
7	AVA	FA	0,219	0,079	17,15	25,26	42,40	0,217	0,100	15,74	23,96	39,70
8	AVA	FA	0,227	0,125	25,42	25,68	51,09	0,233	0,128	23,42	27,21	50,63
9	AAC	FA	0,187	0,088	26,56	21,05	47,61	0,221	0,098	19,66	23,70	43,36
11	ND	FA	0,160	0,085	23,86	17,60	41,46	0,256	0,129	12,54	27,37	39,91
12	AAC	FA	0,206	0,125	28,86	21,92	50,78	0,247	0,102	16,94	27,15	44,09
13	C	FA	0,155	0,084	32,50	17,77	50,27	0,216	0,100	20,61	23,61	43,67
15	AAC	FA	0,287	0,196	22,23	30,84	53,07	0,306	0,186	16,47	32,87	49,34

Nota: Classificação do solo: AAC- Argissolo Acinzentado; AV- Argissolo Vermelho; AVA-Argissolo Vermelho-Amarelo; G-Gleissolo; C-Cambissolo.
Classe textural : FA-franco-arenosa; F-Franca. ND – Não Descrita. Ma-macroporosidade; Mi-microporosidade; Pt-porosidade total.

Tabela 6. Parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten (1980) usados para elaboração das curvas de retenção de água no solo nas 12 lavouras de morango referente aos meses de setembro e dezembro de 2007

Propriedades	Parâmetros de ajuste no mês de setembro					Propriedades	Parâmetros de ajuste no mês de dezembro				
	α	m	n	θr	θs		α	m	n	θr	θs
P1	0,060	0,396	1,656	0,093	0,449	P1	0,062	0,304	1,438	0,092	0,385
P2	0,128	0,340	1,516	0,084	0,495	P2	0,052	0,414	1,705	0,106	0,462
P4	0,060	0,352	1,543	0,057	0,410	P4	0,061	0,299	1,426	0,043	0,399
P5	0,125	0,275	1,379	0,049	0,418	P5	0,049	0,476	1,909	0,089	0,401
P6	0,101	0,277	1,383	0,068	0,440	P6	0,050	0,349	1,536	0,088	0,426
P7	0,184	0,191	1,236	0,016	0,424	P7	0,061	0,319	1,469	0,088	0,397
P8	0,068	0,399	1,663	0,121	0,511	P8	0,047	0,442	1,793	0,126	0,506
P9	0,087	0,379	1,610	0,083	0,476	P9	0,090	0,290	1,409	0,080	0,434
P11	0,060	0,444	1,798	0,083	0,415	P11	0,083	0,220	1,282	0,089	0,399
P12	0,177	0,339	1,512	0,118	0,508	P12	0,049	0,321	1,473	0,087	0,441
P13	0,134	0,400	1,666	0,081	0,503	P13	0,070	0,341	1,517	0,090	0,443
P15	0,125	0,325	1,481	0,187	0,531	P15	0,072	0,299	1,426	0,170	0,493

A partir dos parâmetros da tab. 6 foram elaboradas as curvas estimadas de retenção de água pelo modelo de van Genuchten (1980) que são apresentadas nas Figs. 19 e 20, para os meses de setembro e dezembro de 2007, referentes ao período de irrigação da cultura do morangueiro na região de Turuçu-RS. De acordo com Bamberg (2010), a coleta das amostras de solo para obtenção da curva de retenção ocorreu na primeira semana de setembro de 2007, logo após o transplante das mudas e antes da fase produtiva, e a amostragem posterior ocorreu na segunda semana de dezembro de 2007.

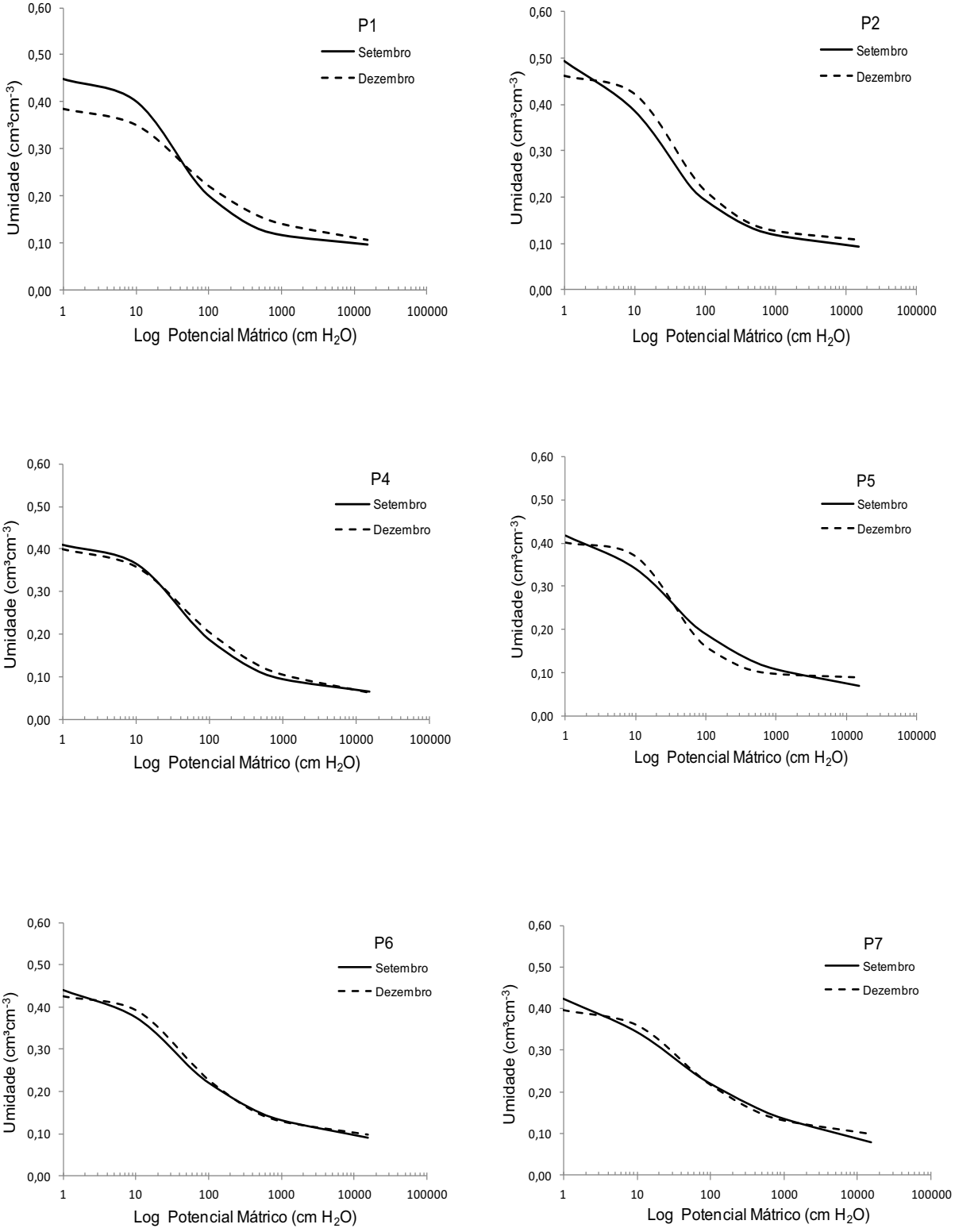


Figura 19. Curvas de retenção de água no solo, faixa de 0-200 mm de profundidade, para os meses de setembro e dezembro de 2007 nas lavouras das propriedades P1, P2, P4, P5, P6 e P7. P1: lavoura 1, e assim por diante.

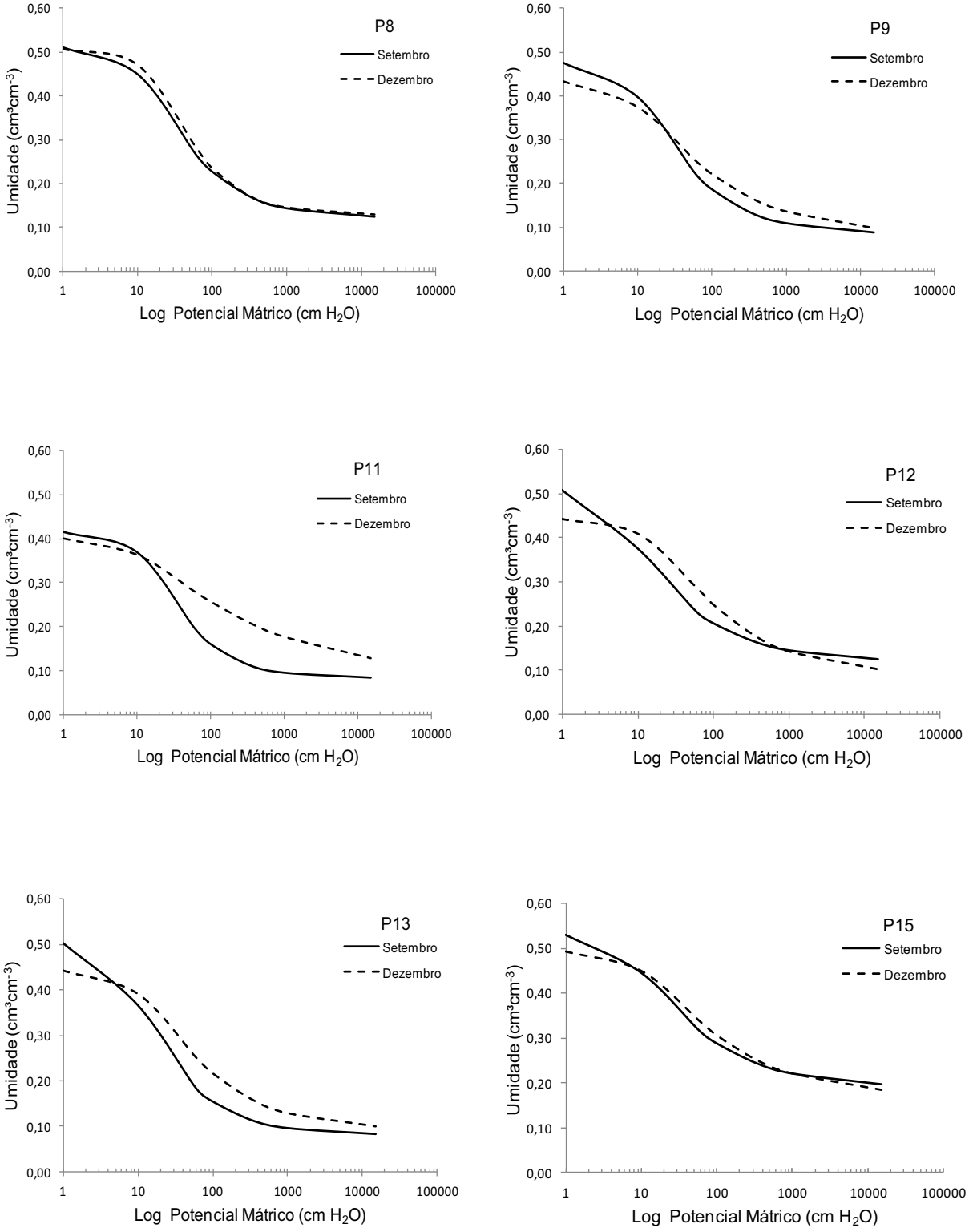


Figura 20. Curvas de retenção de água no solo, faixa de 0-200 mm de profundidade, para os meses de setembro e dezembro de 2007 nas lavouras das propriedades P8, P9, P11, P12, P13 e P15. P8: lavoura 8, e assim por diante.

A partir dos dados de retenção de água em cada lavoura e para os meses de setembro e dezembro (tab. 6 e Figs. 19 e 20) foram calculados os valores da capacidade de água disponível no solo (CAD, mm), para a faixa de 0-200 mm de profundidade, por meio da equação 1:

$$CAD = \theta_{CC} - \theta_{PMP} \times Z \quad (1)$$

sendo:

CAD= capacidade de água disponível (mm);

θ_{CC} = conteúdo de água no solo na capacidade de campo (cm^3cm^{-3});

θ_{PMP}= conteúdo de água no solo no ponto de murcha permanente (cm^3cm^{-3}); e

Z= camada de solo considerada de 0-200 mm.

O conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{cc}) foi considerado aquele retido a tensão de 102 cmH_2O e o referente ao ponto de murcha permanete (θ_{PMP}) a tensão de 15.300 cmH_2O, em virtude da classe textural da maioria dos solos das propriedades ser classificada como franco-arenosa (tab. 5). De acordo com Amaro Filho, Assis Junior e Mota (2008), o conteúdo de água retido à tensão de 102 cmH_2O (10 kPa) pode ser adotado como referente ao valor da capacidade de campo em solos arenosos.

4.2.4. Monitoramento das leituras nos tensiômetros

Para o monitoramento do potencial matricial de água no solo ao longo do tempo em cada uma das lavouras foram instalados, na profundidade de 200 mm, dois tensiômetros em local representativo de um canteiro selecionado em cada lavoura (Fig. 21). As leituras foram realizadas diariamente pelos agricultores nos tensiômetros dotados de um vacuômetro em mmHg (milímetros de mercúrio) e transformadas para cm de coluna de água. Estes dados foram registrados em planilhas previamente fornecidas aos agricultores.

Figura 21. Tensiômetros instalados em canteiros de produção de morango.

De posse destas informações e das curvas de retenção ajustadas ao modelo de van Genuchten (1980) foram calculados os valores de armazenamento diário de água no solo ao longo do tempo, conforme equação 2:

$$h_i = \theta_i \times Z \quad (2)$$

sendo:

h_i = armazenamento de água no solo no dia i (mm);

θ_i = conteúdo de água no solo no dia i obtido a partir do valor médio das leituras dos tensiômetros no dia i (cm^3cm^{-3});

Z = camada de solo considerada de 0-200 mm.

As precipitações, conforme especificadas no Capítulo 3, foram monitoradas em cada uma das propriedades rurais por meio de um pluviômetro do tipo “Ville Paris” com uma área de captação de 350 cm². Os produtores rurais realizaram o monitoramento diário da precipitação durante os anos de 2007 e 2008, sendo estes dados anotados em planilhas previamente fornecidas a cada um deles.

Os valores médios diários do potencial matricial de água no solo, de precipitação e os calculados de armazenamento (equação 2) foram plotados em gráficos com o objetivo de avaliar o comportamento destas variáveis ao longo dos meses de setembro e dezembro de 2007, em cada uma das 12 lavouras.

Para avaliar a distribuição espacial e temporal dos valores de CAD e do armazenamento diário de água no solo foram elaborados gráficos em caixa que de acordo com Islabão (2009) fornecem uma ideia do formato da distribuição dos dados e permitem a identificação de valores discrepantes.

Para a construção do gráfico em caixa, considera-se um retângulo onde são representados os quartis e a mediana. A partir do retângulo, para cima e para baixo, seguem linhas, demominadas bigodes, que vão até os valores adjacentes. São adjacentes o menor e o maior valor não discrepante de um conjunto de dados, ou seja, o maior valor que não ultrapassa a cerca superior e o menor valor que não ultrapassa a cerca inferior. Os valores discrepantes recebem uma representação individual por meio de uma letra ou símbolo, conforme ilustrado na Fig. 22.

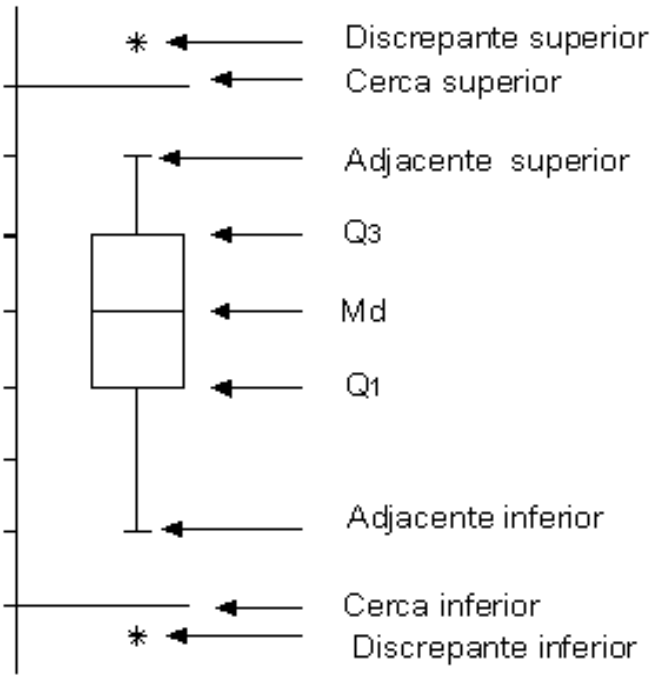


Figura 22. Ilustração de um gráfico em caixa (*box plot*), sendo Q_3= terceiro quartil, Md= mediana do conjunto de dados e Q_1= primeiro quartil.

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Avaliação dos valores da capacidade de água disponível (CAD)

Na tab. 7 são apresentados os valores de capacidade de água disponível no solo (CAD), na faixa de profundidade de 0-200 mm, para as 12 lavouras de morango referentes aos meses de setembro e dezembro de 2007. Analisando a tab. 7 pode ser observado que no mês de setembro o valor máximo de CAD foi de 28,00 mm na lavoura P7 e o mínimo de 14,20 mm na P13, sendo que a média dos valores da CAD neste mês foi de 20,43 mm. No mês de dezembro a CAD apresentou um valor máximo de 29,00 mm na P12 e mínimo de 14,00 mm na P5, sendo que a média da CAD neste mês foi de 23,52 mm.

Tabela 7. Capacidade de água disponível no solo (CAD) em 12 lavouras de morango nos meses de setembro e dezembro de 2007 para uma faixa de profundidade de 0-200 mm

Lavouras de morango	Mês de setembro	Mês de dezembro
	CAD (mm)	CAD (mm)
P1	20,60	22,80
P2	19,20	21,00
P4	24,20	28,20
P5	23,80	14,00
P6	25,80	25,60
P7	28,00	23,40
P8	20,40	21,00
P9	19,60	24,60
P11	15,00	25,40
P12	16,20	29,00
P13	14,20	23,20
P15	18,20	24,00
MÉDIA	20,43	23,52

O desvio padrão dos valores de CAD no mês de setembro correspondeu a 4,32 mm e no mês de dezembro à 3,87 mm, sendo que os coeficientes de variação para os referidos meses são, respectivamente, 21,14% e 16,47%. Baseando-se na classificação proposta por Wilding e Drees (1983), a dispersão dos dados de CAD em torno da média é classificada como moderada (15%≤ CV< 35%) em ambos os meses.

De acordo com Doorenbos e Kassam (1994, apud PEREIRA, ANGELOCCI E SENTELHAS, 2002), para solos de textura média, o valor de CAD é em torno de 140 mm m^{-1}. Levando-se em conta esta informação e o fato de que os valores de CAD apresentados na tab. 7 foram calculados para a faixa de 0-200 mm de profundidade, verifica-se que somente no mês de setembro o valor de CAD no solo da lavoura P7 foi compatível com a indicação dos autores supracitados, sendo que nos demais os seus valores estão abaixo do especificado. Por outro lado, no mês de dezembro os valores de CAD nas lavouras P4 e P12 são ligeiramente superiores ao indicado, sendo que de uma forma geral seus valores aumentaram neste mês quando comparados aos de setembro. Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002) destacam que para a elaboração do balanço hídrico climatológico, independente do tipo de solo, pode-se adotar valores de CAD entre 25 a 50 mm para hortaliças como é o caso do morangueiro. Baseando-se na indicação destes autores, somente os valores de CAD referentes as lavouras P6 e P7 se enquadram nesta faixa para o mês de setembro, enquanto que para dezembro os valores de CAD nas lavouras P4, P6, P11 e P12 se enquadrariam.

Na Fig. 23 é apresentado o gráfico em caixa dos valores de CAD apresentados na tab. 7.

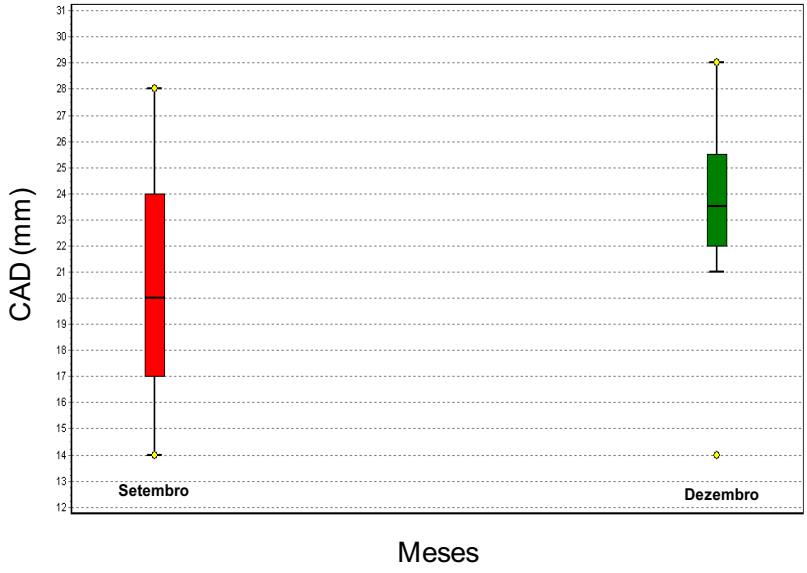


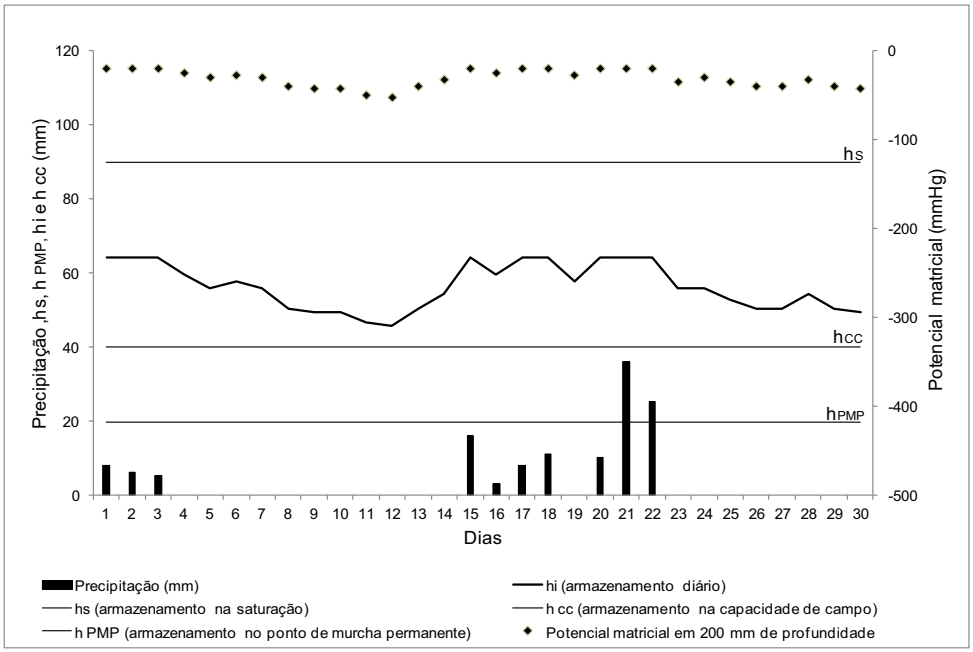
Figura 23. Gráfico em caixa dos valores de CAD apresentados na tab. 7.

De acordo com a Fig. 23, observa-se que os valores da mediana dos conjuntos de dados de CAD para os meses de setembro e dezembro foram, respectivamente, de 20 mm e 23,50 mm e que a amplitude de variabilidade espacial dos valores de CAD foi maior no mês de setembro quando comparada a de dezembro indicando uma maior homogeneidade nos dados de CAD no mês de dezembro. Também constata-se a presença de um valor discrepante inferior nos dados de CAD (14,00 mm) no mês de dezembro correspondente ao valor calculado em P5. Analisando conjuntamente a tab. 7 e a Fig. 23 seria esperado que não fosse encontrada esta discrepância em termos de valores de CAD pelo fato de que praticamente em todas as lavouras a classe textural da camada de 0-200 mm é a mesma.

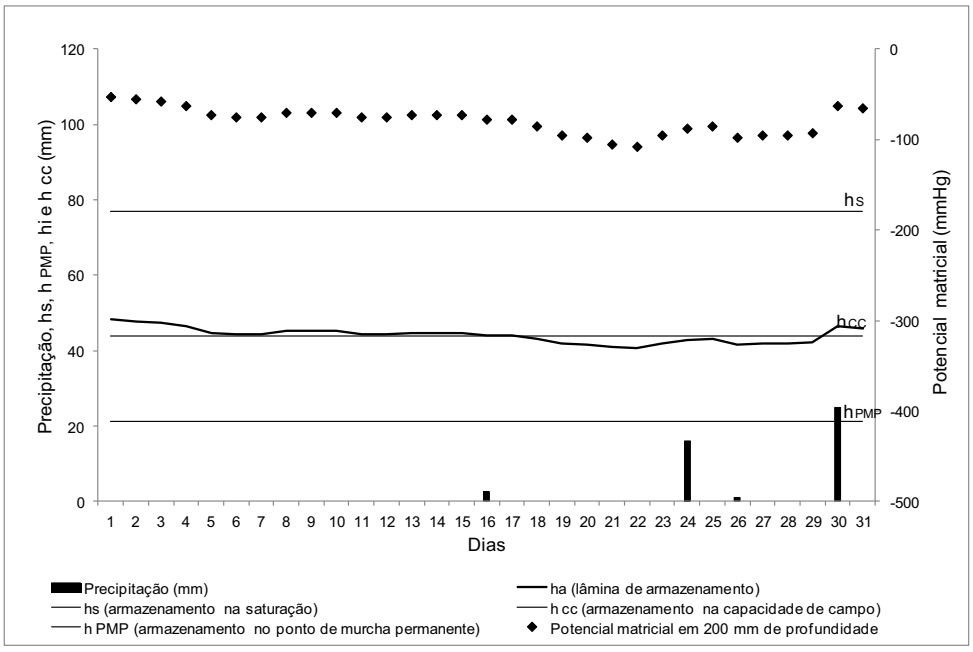
4.3.2. Variação do armazenamento diário de água no solo ao longo do tempo

A Fig. 24 apresenta os valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes a saturação do solo (h_S), a capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), correspondente a faixa de 0-200 mm de

profundidade, para os meses de setembro (Fig. 24a) e dezembro (Fig. 24b) de 2007, referentes aos solos da lavoura P1 de morango.



(a)



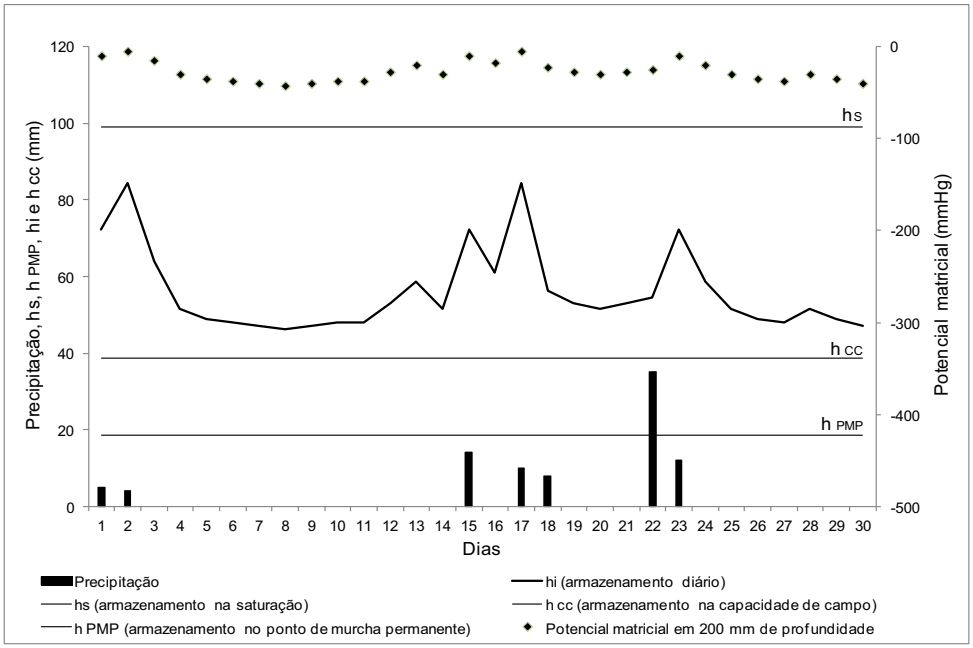
(b)

Figura 24. Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes a saturação do solo (h_S), a capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 24a) e dezembro (Fig. 24b) de 2007, faixa de 0-200 mm de profundidade.

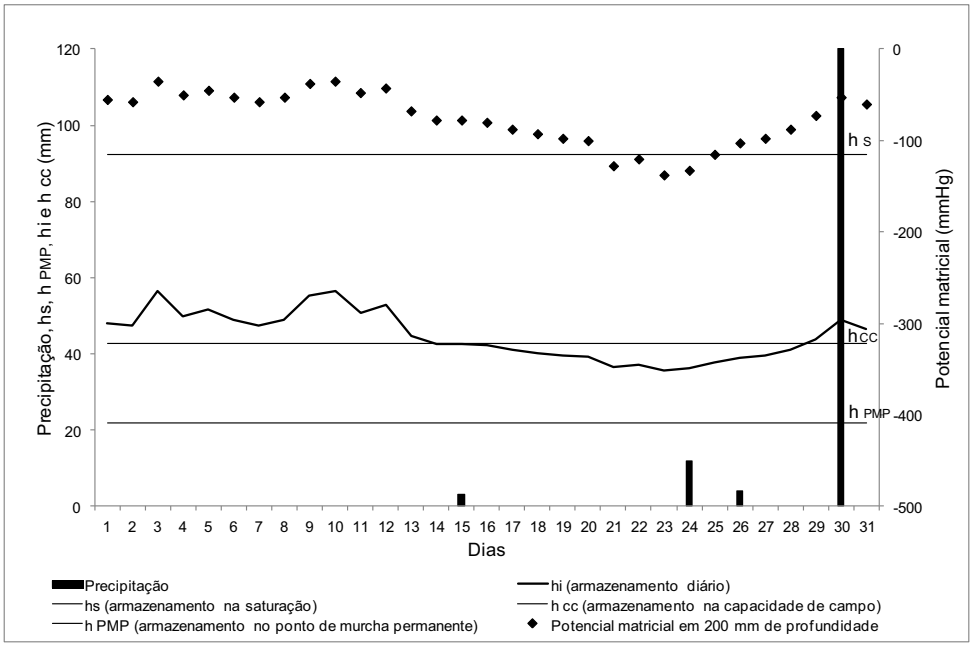
Analisando a Fig. 24, verifica-se que no mês de setembro os valores diários do potencial matricial de água no solo, na profundidade de 200 mm, variaram de -20,00 mmHg (-2,67 kPa) a -52,50 mmHg (-7,00 kPa) enquanto que no mês de dezembro eles variaram de -52,50 mmHg (-7,00 kPa) a -107,50 mmHg (-14,33 kPa), ou seja, houve uma variabilidade maior dos dados do potencial no mês de dezembro que pode ser devido ao fato de que o produtor não acionou o sistema de irrigação bem como ao fato de que no mês de setembro ocorreu uma maior precipitação acumulada (128,00 mm) diminuindo a variação dos potenciais. Também pode ser constatado que as leituras dos tensiômetros refletiram o comportamento da precipitação principalmente no mês de setembro (Fig. 24a). Embora os canteiros de morangueiro fossem cobertos com lona plástica preta, parte da água acumulada em cima da lona e entre canteiros pode ter infiltrado no solo. Em termos de módulo, os potenciais de água no solo foram maiores em dezembro já que, comumente, são registrados maiores valores de temperatura do ar e de radiação solar nesta região durante este período do ano.

Os dados de armazenamento diário de água no solo (h_i) variaram ao longo do mês de setembro de um valor máximo de 63,93 mm a um mínimo de 45,64 mm enquanto que para dezembro eles variaram de 48,38 mm (valor máximo) a 40,81 mm (valor mínimo), apresentando uma menor amplitude de variabilidade. Também pode ser verificado na Fig. 24a que no mês de setembro todos os valores ficaram acima do armazenamento referente a capacidade de campo que foi de 40,00 mm, enquanto que 61,29% dos valores de armazenamento ficaram acima do armazenamento referente a capacidade de campo que foi de 44,00 mm, no mês de dezembro. Além disso, pode ser constatado que os valores de armazenamento relativos a saturação do solo (89,80 mm para setembro e 77,00 mm para dezembro) e ponto de murcha permanente (19,40 mm para setembro e 21,20 mm para dezembro) foram diferentes para ambos os meses, ressaltando a importância de uma avaliação mais criteriosa dos conceitos relativos a CC e PMP, que são consideradas, de forma geral, “constantes” físico-hídricas na maior parte dos trabalhos publicados na literatura. Este comportamento foi observado para todas as lavouras de morango aqui avaliadas.

A Fig. 25 apresenta as mesmas informações da Fig. 24 para o solo da lavoura P2.



(a)



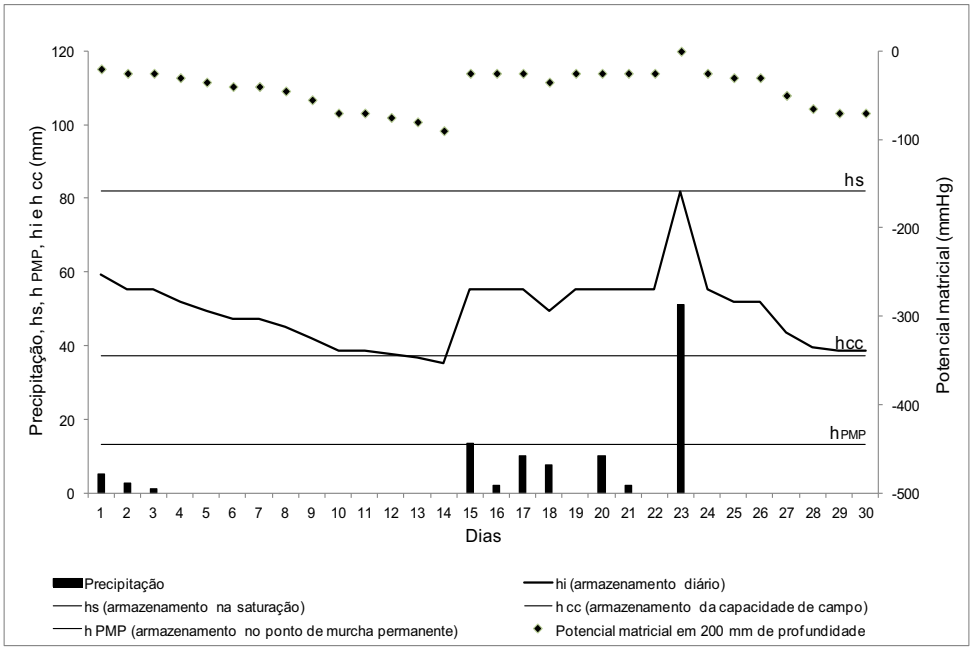
(b)

Figura 25. Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes a saturação do solo (h_S), a capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 25a) e dezembro (Fig. 25b) de 2007, na lavoura P2, faixa de 0-200 mm de profundidade.

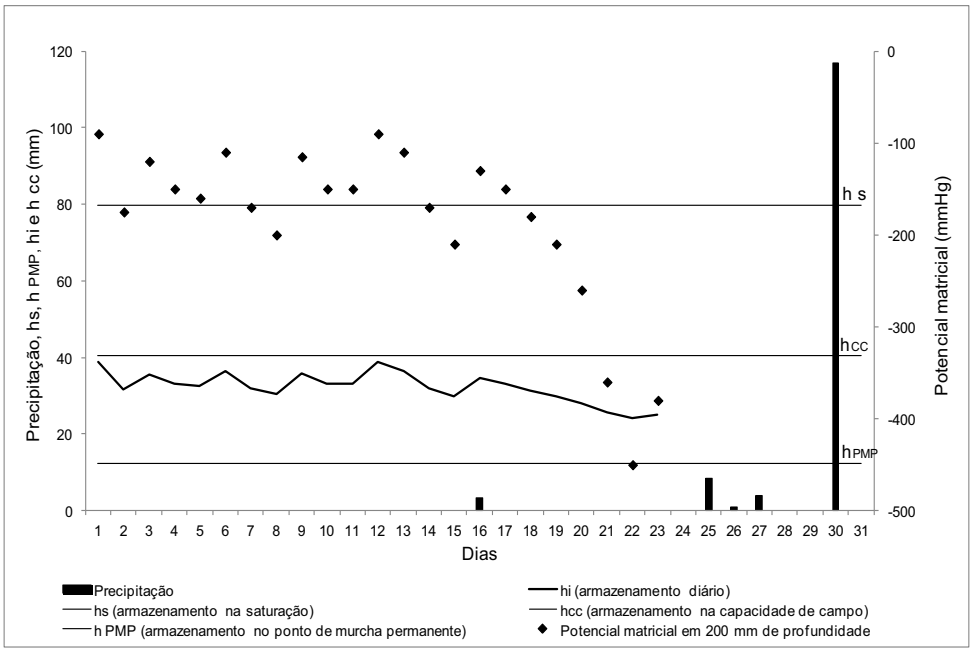
Analisando a Fig. 25, verifica-se que no mês de setembro os valores diários do potencial matricial de água no solo variaram de -5,00 mmHg (-0,67 kPa) a -42,50 mmHg (-5,67 kPa) enquanto que no mês de dezembro eles variaram de -35,00 mmHg (-4,67 kPa) a -137,50 mmHg (-18,33 kPa), ou seja, houve uma variabilidade maior dos dados de potencial referentes ao mês de dezembro. O comportamento dos dados de potencial de água no solo a partir do dia 13/12/2007 pode ser devido ao fato de que o produtor não acionou mais o sistema de irrigação, ou seja, "abandonou a irrigação" da lavoura de morango a partir desta data. Também pode ser constatado que os valores, em módulo, das leituras dos tensiômetros diminuíram quando ocorreu precipitação, principalmente no mês de setembro (Fig. 25a), evidenciando o bom funcionamento dos tensiômetros e que a lona plástica não impede que água da chuva interfira sobre o potencial mátrico do solo dos canteiros. Os valores dos potenciais de água no solo (em módulo) foram maiores em dezembro quando comparadas com o mês de setembro.

Os dados de armazenamento diário de água no solo (h_i) variaram ao longo do mês de setembro de um valor máximo de 84,47 mm a um mínimo de 46,09 mm enquanto que para dezembro eles variaram de 56,64 mm (valor máximo) a 35,77 mm (valor mínimo) apresentando uma menor amplitude de variabilidade. Também pode ser verificado na Fig. 25a que no mês de setembro todos os valores de h_i ficaram acima do armazenamento referente a capacidade de campo (igual a 38,60 mm). Já 51,61% dos valores de h_i ficaram acima do armazenamento referente a capacidade de campo (igual a 42,80 mm) no mês de dezembro. Comparando tanto os valores de armazenamento relativos a saturação do solo (99,00 mm para setembro e 92,40 mm para dezembro) como ao ponto de murcha permanente (18,60 mm para setembro e 21,80 mm para dezembro) pode ser novamente observado que eles foram distintos para ambos os meses.

A Fig. 26 apresenta as mesmas informações da Fig. 24 para a lavoura P4.



(a)



(b)

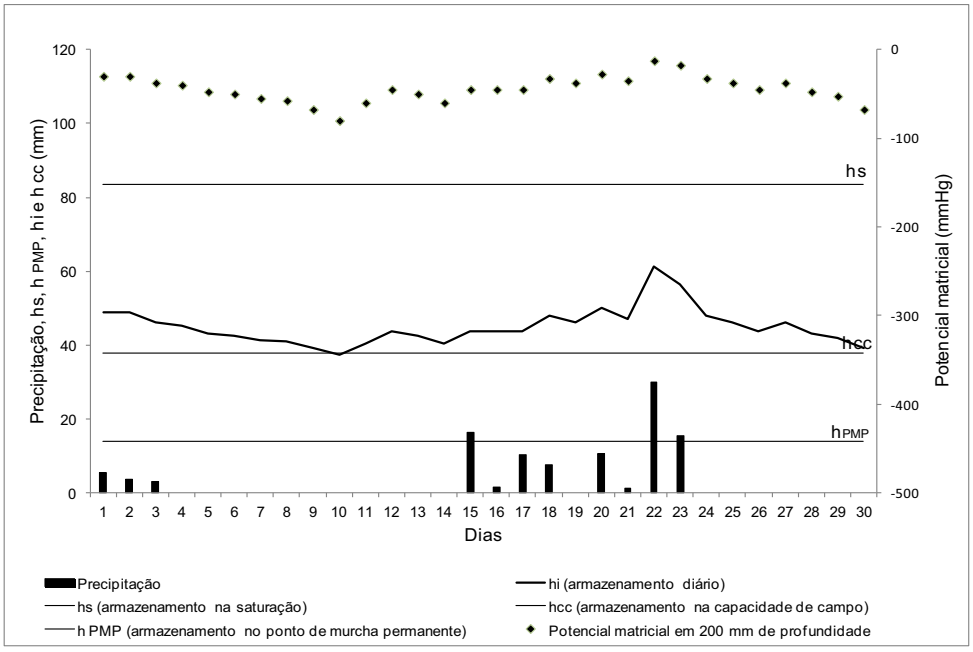
Figura 26. Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes a saturação do solo (h_S), a capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 26a) e dezembro (Fig. 26b) de 2007, na lavoura P4, faixa de 0-200 mm de profundidade.

A partir da Fig. 26 verifica-se que no mês de setembro os valores diários do potencial matricial de água no solo variaram de -20,00 mmHg (-2,67 kPa) até -90,00 mmHg (-12,00 kPa), sendo que no dia 23/09/2007 os tensiômetros registraram um potencial nulo (zero), indicando que o solo se encontrava em condições de saturação na camada estudada. No mês de dezembro os potencias variaram de -90 mmHg (-12,00 kPa) a -450 mmHg (-59,99 kPa), apresentando uma maior variabilidade dos dados de potencial referentes ao mês de dezembro, fato este já constatado nas outras lavouras. Em P4 ocorreram precipitações mais distribuídas ao longo do mês de setembro, com um total acumulado de 104,50 mm, enquanto que ocorreu um evento de precipitação mais intenso no dia 30/12/2007 (117,00 mm) após o término do monitoramento dos dados e da produção de morango. Desta forma, acredita-se que este elemento isolado não tenha causado prejuízo à lavoura.

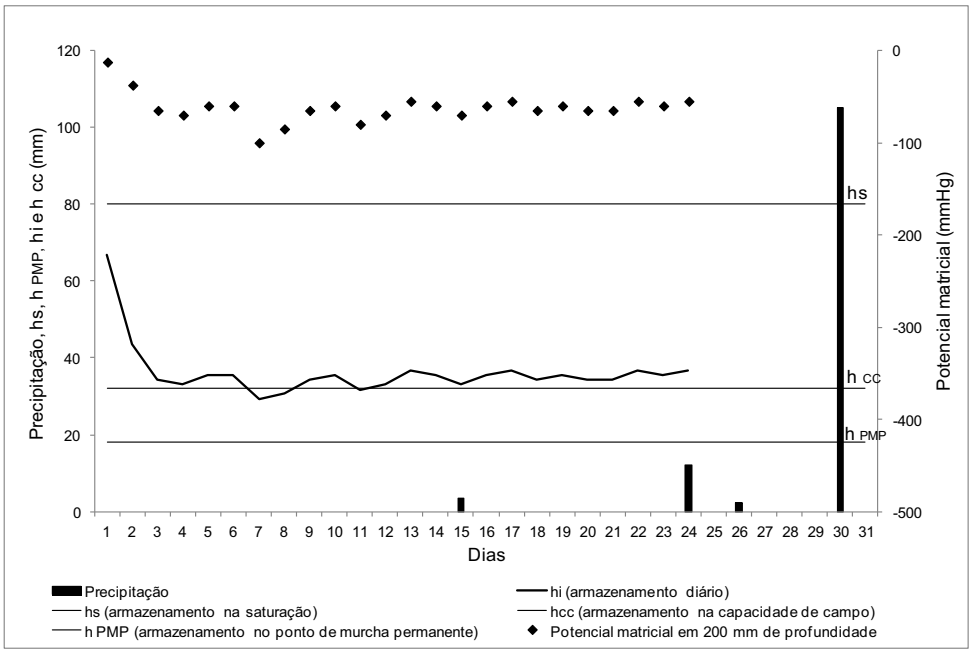
Em P4 também constatou-se que as leituras dos tensiômetros refletiram o comportamento da precipitação principalmente no mês de setembro (Fig. 26a). No dia 23/09/2007 o potencial registrado no tensiômetro foi nulo (zero) e o armazenamento de água no solo correspondeu ao valor máximo, isto é, solo saturado.

Na Fig. 26 constata-se também que os dados de armazenamento diário de água no solo (h_i) variaram ao longo do mês de setembro de um valor máximo de 82,00 mm a um mínimo de 35,30 mm enquanto que para dezembro eles variaram de 38,77 mm (valor máximo) a 24,05 mm (valor mínimo) apresentando, novamente, uma menor amplitude de variabilidade. A maioria dos valores de h_i ficaram acima do armazenamento referente a capacidade de campo (37,20 mm) no mês de setembro, enquanto que no mês de dezembro seus valores ficaram abaixo do armazenamento referente a capacidade de campo (40,60 mm), conforme pode ser verificado na Fig. 26b. Comparando tanto os valores de armazenamento relativos a saturação do solo (82,00 mm para setembro e 79,80 mm para dezembro) como ao ponto de murcha permanente (13,00 mm para setembro e 12,40 mm para dezembro) também pode ser observado que eles foram diferentes em ambos os meses.

A Fig. 27 apresenta as mesmas informações da Fig. 24 para a lavoura P5.



(a)



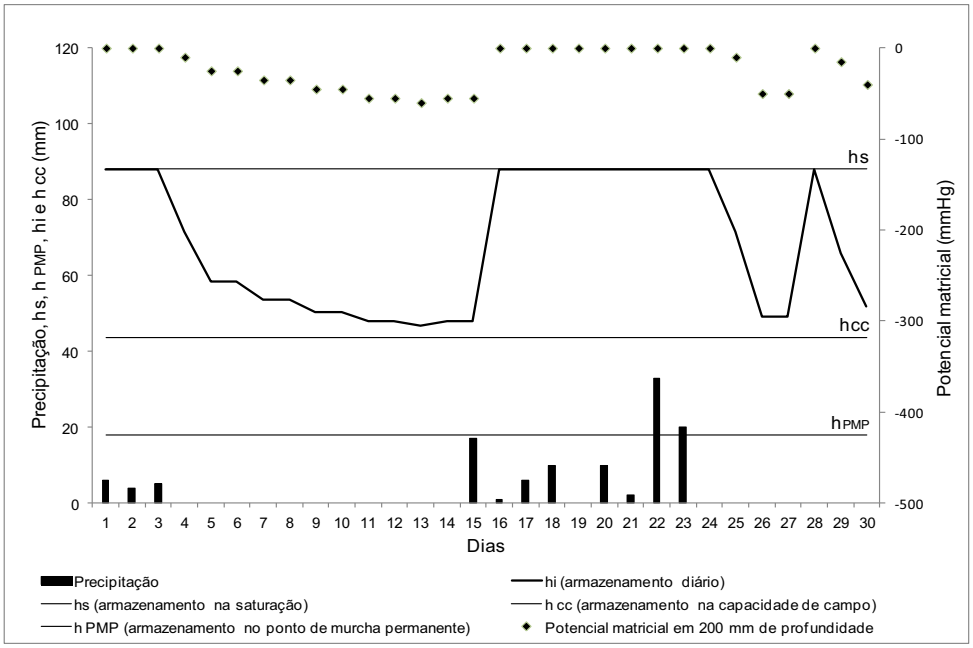
(b)

Figura 27. Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes a saturação do solo (h_S), a capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 27a) e dezembro (Fig. 27b) de 2007, na lavoura P5, faixa de 0-200 mm de profundidade.

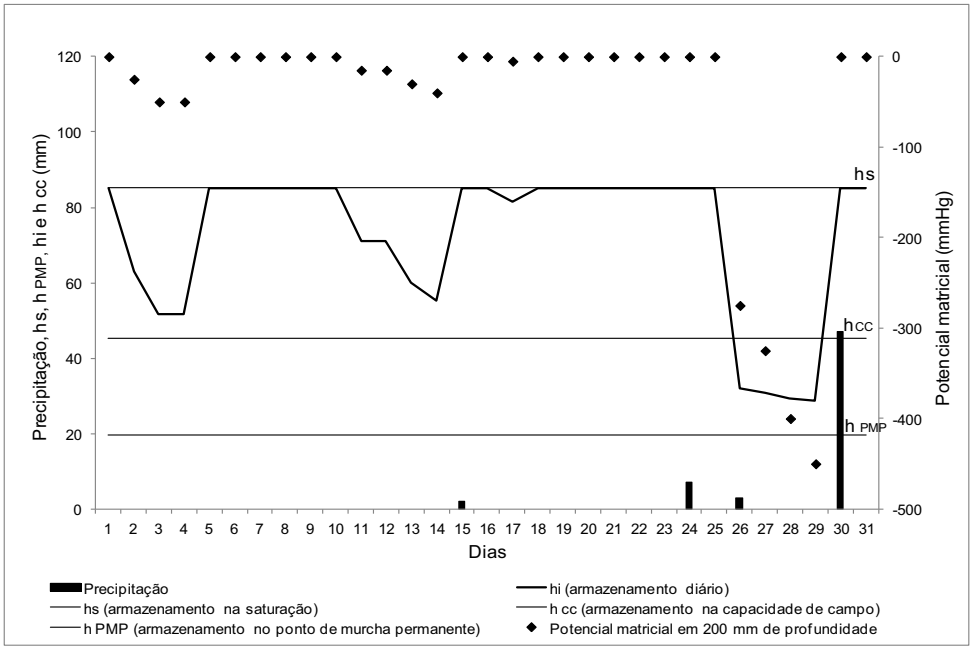
Analisando os gráficos da Fig. 27, verifica-se que o comportamento dos valores diários do potencial matricial de água no solo no mês de setembro variaram de -12,50 mmHg (-1,67 kPa) a -80,00 mmHg (-10,67 kPa). Já no mês de dezembro eles variaram de -12,50 mmHg (-1,67 kPa) a -100 mmHg (-13,33 kPa), ou seja, houve uma maior variabilidade dos dados de potencial referentes ao mês de dezembro. Da mesma forma que em outras lavouras, isto pode ter ocorrido em virtude do sistema de irrigação não ter sido acionado pelo produtor bem como ao fato de que no mês de setembro ocorreram precipitações melhores distribuídas ao longo do tempo.

Durante o mês de setembro, os valores de h_i variaram de um valor máximo de 61,32 mm a um mínimo de 37,39 mm, enquanto que para dezembro eles variaram de 66,82 mm (valor máximo) a 29,14 mm (valor mínimo) apresentando uma menor amplitude de variabilidade. Adicionado a isto, também pode ser verificado que no mês de setembro a maioria dos valores de h_i ficaram acima de h_{CC} (37,80 mm) e que no mês de dezembro 87,50 % dos valores de h_i ficaram acima de h_{CC} (32,00 mm), mas muito próximos de h_{CC}, demostrando que o produtor manteve uma rotina de irrigações ao longo desse mês. Comparando tanto os valores de armazenamento relativos a saturação do solo (83,60 mm para setembro e 80,20 mm para dezembro) como ao ponto de murcha permanente (14,00 mm para setembro e 18,00 mm para dezembro) também pode ser observado que eles foram distintos para ambos os meses.

A Fig. 28 apresenta as mesmas informações da Fig. 24 para a camada de 0-200 mm de solo da lavoura P6.



(a)



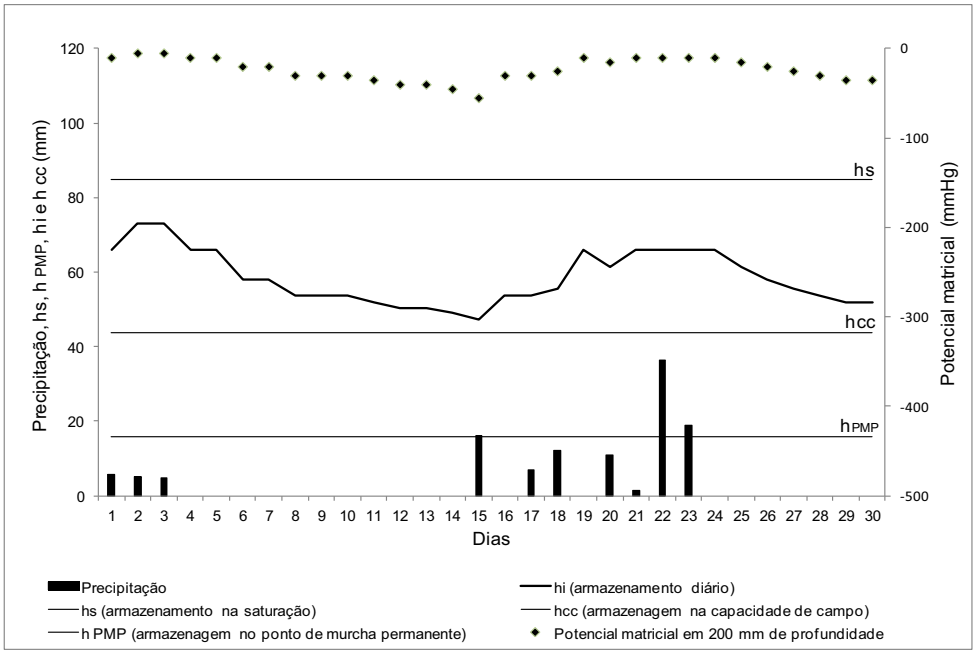
(b)

Figura 28. Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes a saturação do solo (h_S), a capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 28a) e dezembro (Fig. 28b) de 2007, na lavoura P6, faixa de 0-200 mm de profundidade.

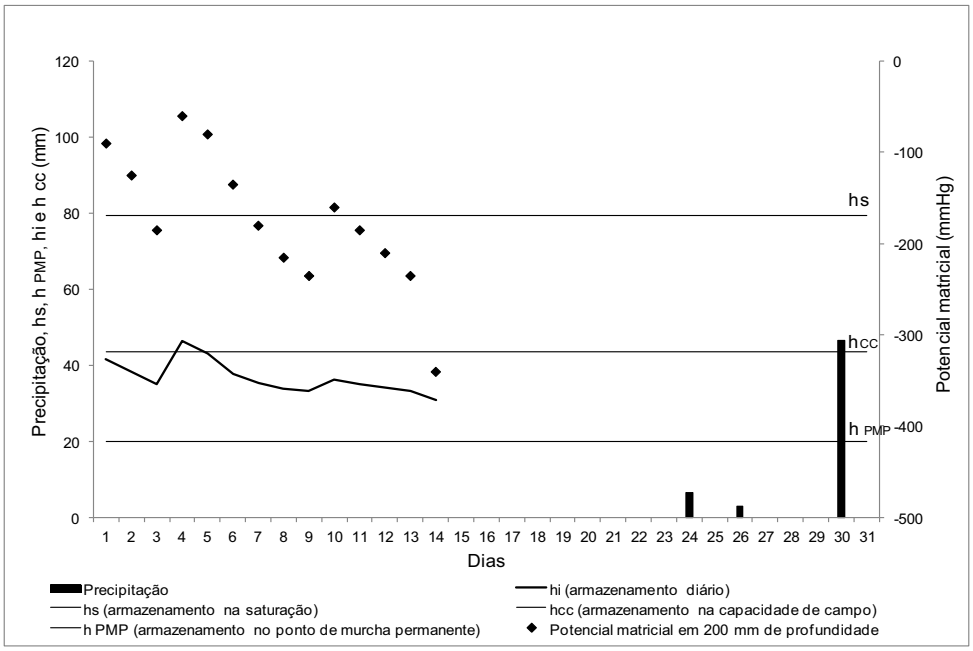
Analisando os gráficos da Fig. 28, verifica-se que, para o mês de setembro de 2007, os valores diários do potencial matricial de água no solo variaram de -10 mmHg (-1,33 kPa) a -60 mmHg (-8,00 kPa), sendo que, em 13 dias deste mês o potencial de água no solo foi zero. No mês de dezembro os valores dos potenciais variaram de -5 mmHg (-0,67 kPa) a -450 mmHg (-59,99 kPa), e também observa-se, pela Fig. 28b, que durante 19 dias o potencial foi igual a zero. Este comportamento dos valores do potencial de água no solo é diferente das demais lavouras até então analisadas já que em uma boa parte dos meses de setembro e dezembro o solo se encontrava em condições de saturação na camada 0-200 mm de profundidade.

Ainda a partir da Fig. 28, pode ser constatado que os valores de h_i variaram de 88,00 mm (valor máximo) a 46,78 mm (valor mínimo) ao longo do mês de setembro. Em dezembro eles variaram de 85,20 mm (valor máximo) a 28,62 mm (valor mínimo) apresentando, novamente, uma menor amplitude de variabilidade. Pode ser verificado também que todos os valores de h_i ficaram acima do armazenamento referente a capacidade de campo que foi de 43,80 mm. Além disso, 87,10% dos valores de h_i ficaram acima do armazenamento h_{CC} que foi de 45,20 mm para o mês de dezembro. Novamente constata-se que tanto os valores h_S (88,00 mm para setembro e 85,20 mm para dezembro) como os de h_{PMP} (18,00 mm para setembro e 19,60 mm para dezembro) foram diferentes para os dois meses.

A Fig. 29 apresenta as mesmas informações da Fig. 24 para a lavoura P7.



(a)



(b)

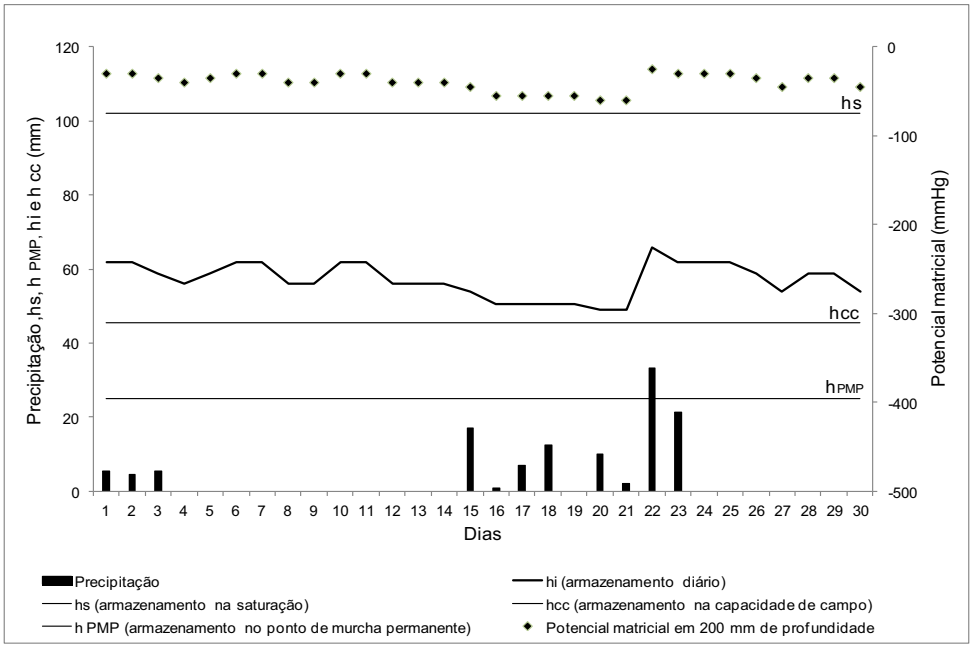
Figura 29. Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes a saturação do solo (h_S), a capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 29a) e dezembro (Fig. 29b) de 2007, na lavoura P7, faixa de 0-200 mm de profundidade.

Analisando a Fig. 29 verifica-se que, no mês de setembro, os valores diários do potencial matricial de água no solo variaram de -5 mmHg (-0,67 kPa) a -55 mmHg (-7,88 kPa), enquanto que no mês de dezembro variaram de -60 mmHg (-8,00 kPa) a -340 mmHg (-45,33 kPa). No mês de setembro ocorreu uma maior precipitação acumulada (118,20 mm), enquanto que em todo o mês de dezembro ocorreu uma precipitação acumulada de 55,80 mm, sendo que até o dia 14 de dezembro (término do monitoramento dos dados) não houve precipitação.

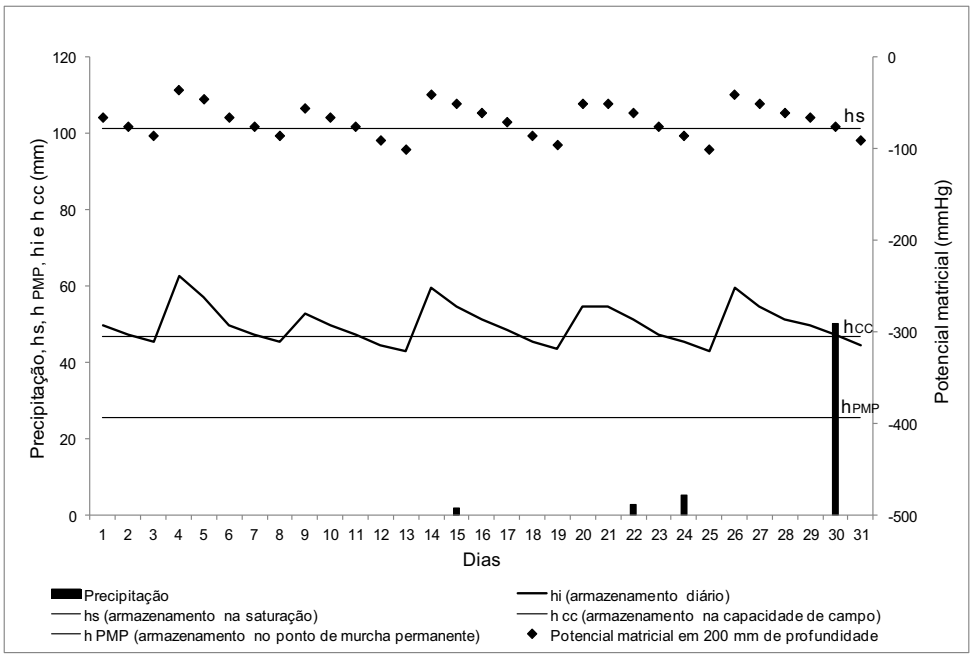
Pode-se verificar que este produtor praticamente não utilizou a irrigação no mês de setembro devido às chuvas, enquanto que no mês de dezembro o sistema de irrigação também não foi muito acionado, mas observa-se que nos dias 4 e 10 de dezembro houve um aumento do h_i sem ter ocorrido precipitação antecedente, provavelmente por ocorrência de irrigação.

Os dados de h_i variaram ao longo do mês de setembro de 73,02 mm a 47,18 mm, enquanto que para dezembro eles variaram de 46,36 mm (valor máximo) a 30,71 mm (valor mínimo) apresentando uma menor amplitude de variabilidade novamente. Com relação aos valores de h_i, verifica-se que todos os seus valores ficaram acima do armazenamento h_{CC} (43,80 mm) para setembro. Já em dezembro seus valores ficaram em 13 dias (de 14 dias) abaixo de h_{CC} (43,40 mm). Tanto os valores de h_S (84,80 mm para setembro e 79,40 mm para dezembro) como h_{PMP} (15,80 mm para setembro e 20,00 mm para dezembro) foram diferentes para ambos os meses.

A Fig. 30 apresenta as mesmas informações da Fig. 24 para o solo da lavoura P8.



(a)



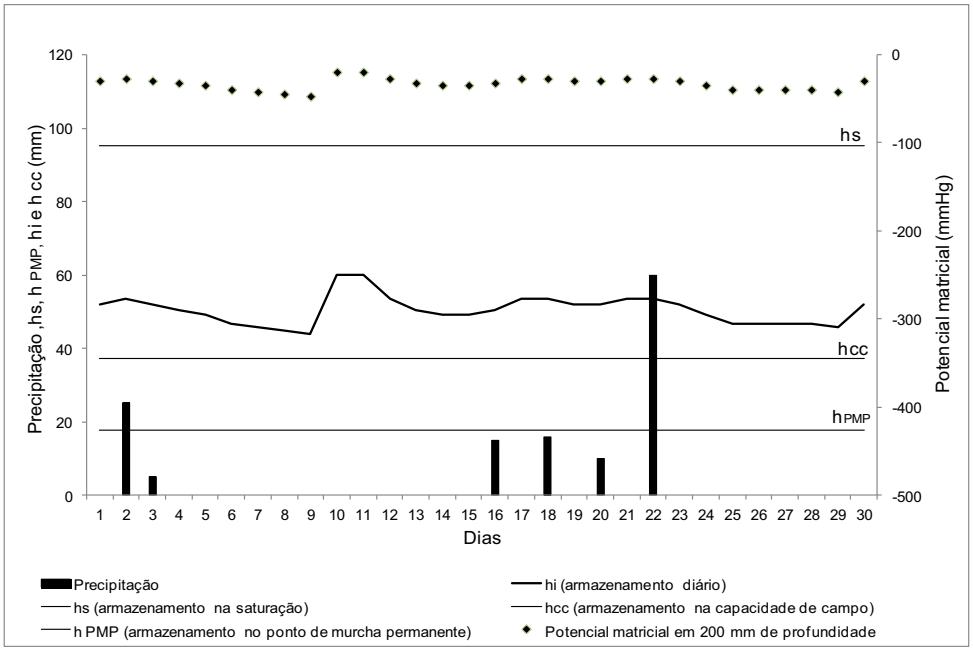
(b)

Figura 30. Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes a saturação do solo (h_S), a capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 30a) e dezembro (Fig. 30b) de 2007, na lavoura P8, faixa de 0-200 mm de profundidade.

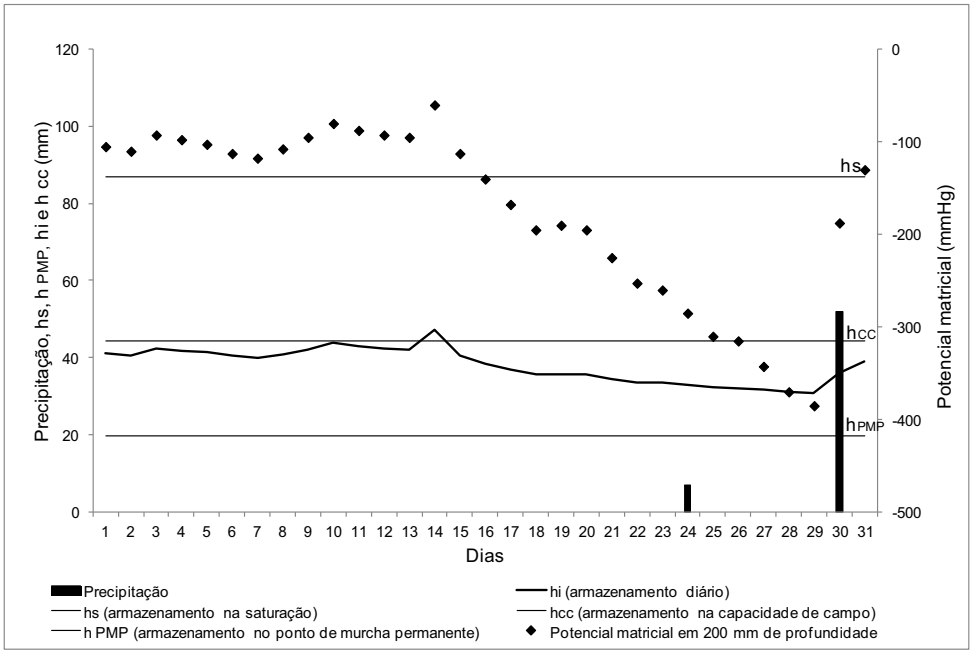
Os valores diários do potencial matricial de água no solo variaram de -25,00 mmHg (-3,33 kPa) a -60,00 mmHg (-8,00 kPa) no mês de setembro (Fig. 30a). Por outro lado, eles variaram de -35,00 mmHg (-4,67 kPa) a -100,00 mmHg (-13,33 kPa) durante o mês de dezembro, indicando uma maior variabilidade dos dados de potencial neste mês, provavelmente devido às mesmas causas já mencionadas anteriormente.

Os valores de h_i variaram, ao longo do mês de setembro, de um valor máximo de 65,78 mm a um mínimo de 49,12 mm, enquanto que para dezembro variaram de 62,66 mm (valor máximo) a 42,90 mm (valor mínimo), apresentando, desta forma, uma menor amplitude de variabilidade. No mês de setembro todos os valores de h_i ficaram acima de h_{CC} (45,40 mm), enquanto que 70,97% dos valores de h_i ficaram acima de h_{CC} (46,60 mm) para dezembro. Novamente também pode ser observado que os valores de h_S e h_{PMP} foram diferentes em ambos os meses.

A Fig. 31 apresenta as mesmas informações da Fig. 24 para o solo da lavoura P9.



(a)



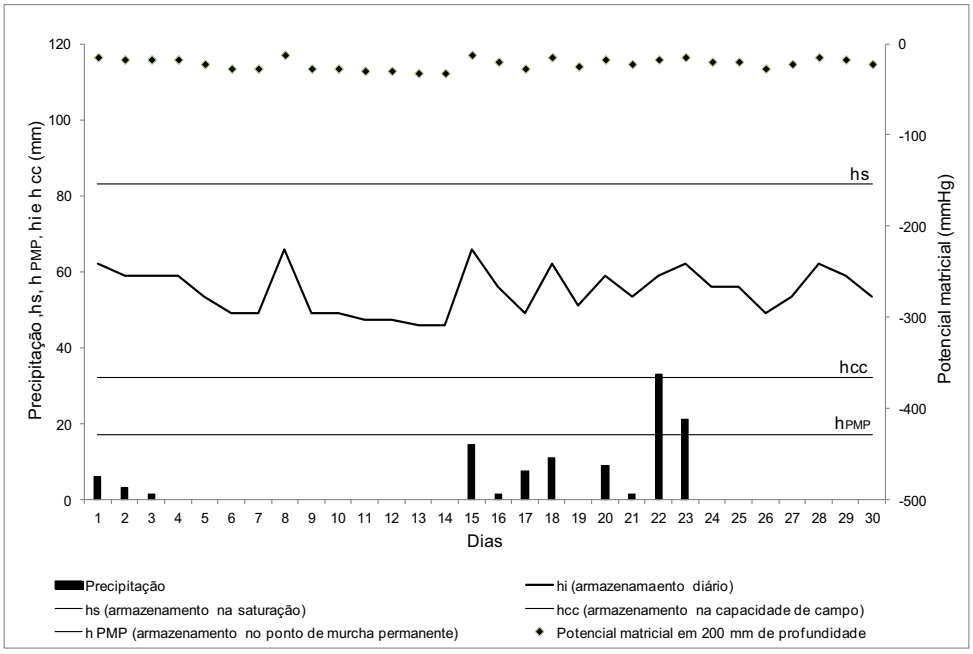
(b)

Figura 31. Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes a saturação do solo (h_S), a capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 31a) e dezembro (Fig. 31b) de 2007, na lavoura P9, faixa de 0-200 mm de profundidade.

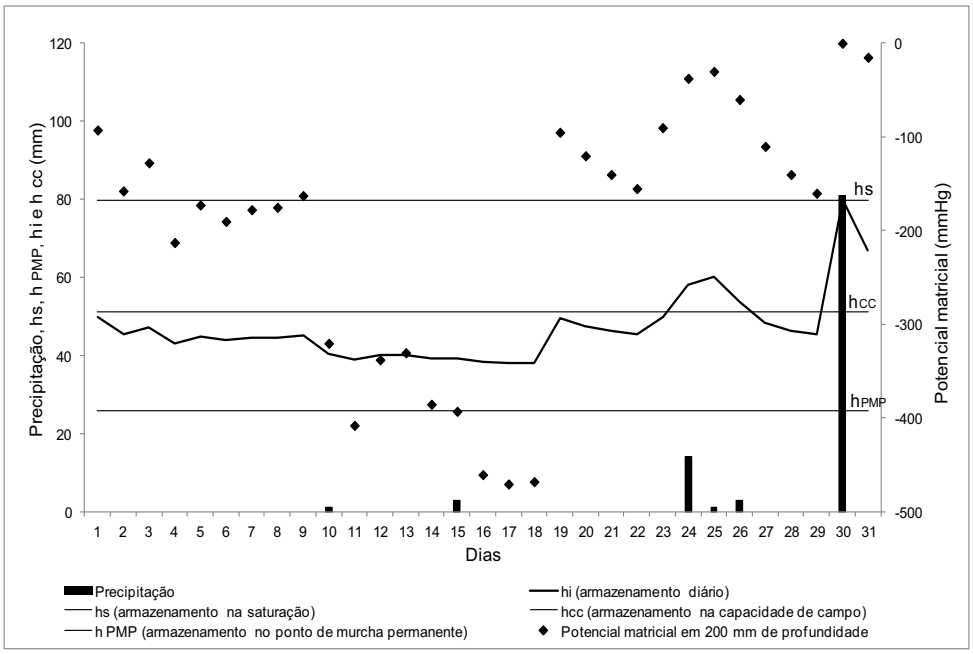
Por meio da Fig. 31 verifica-se que, no mês de setembro, os valores diários do potencial matricial de água variaram de -20,00 mmHg (-2,67 kPa) a -47,50 mmHg (-6,33 kPa) enquanto que no mês de dezembro eles variaram de -60,00 mmHg (-8,00 kPa) a -385,00 mmHg (-51,33 kPa), ou seja, houve uma variabilidade maior dos dados do potencial referentes ao mês de dezembro.

Os valores de h_i variaram, ao longo do mês de setembro, de 59,99 mm a 43,90 mm, enquanto que variaram de 47,23 mm a 30,85 mm apresentando uma maior amplitude de variabilidade em dezembro. No mês de setembro todos os valores de h_i ficaram acima do h_{CC} (37,20 mm). Já 96,77% dos seus valores ficaram abaixo de h_{CC} em dezembro que foi de 44,20 mm. Os valores de h_S e h_{PMP} foram diferentes em ambos os meses.

A Fig. 32 apresenta as mesmas informações da Fig. 24, mas para o solo da lavoura P11.



(a)



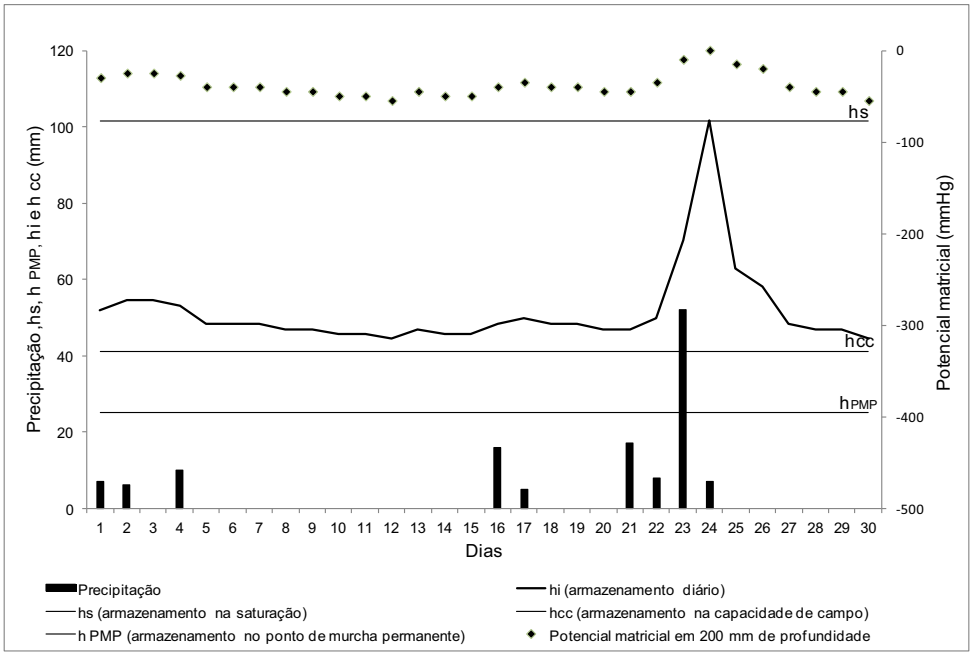
(b)

Figura 32. Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes a saturação do solo (h_S), a capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 32a) e dezembro (Fig. 32b) de 2007, na lavoura P11, faixa de 0-200 mm de profundidade.

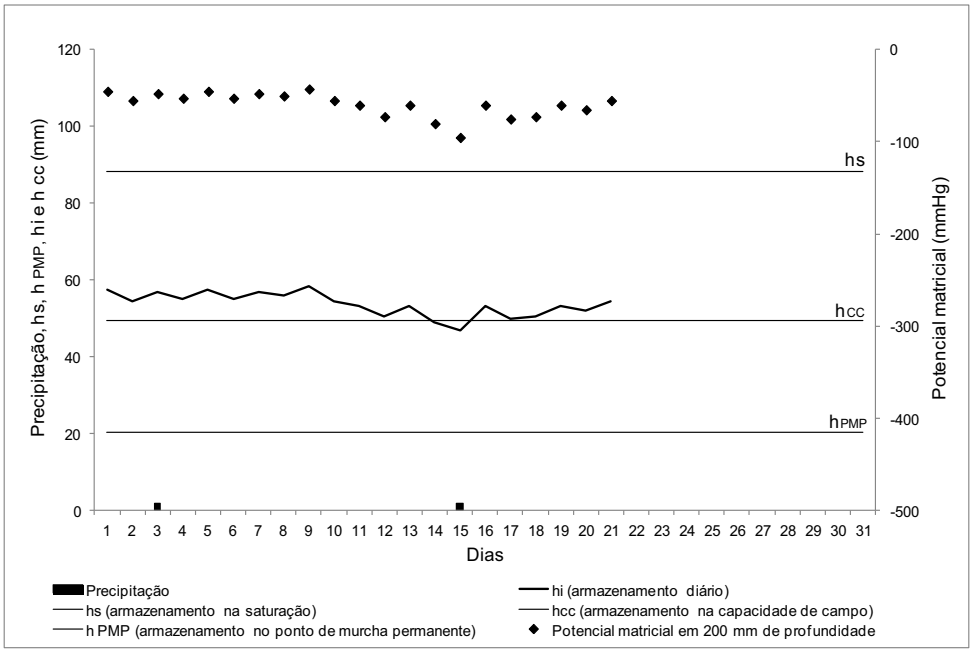
Analisando a Fig. 32, verifica-se que os valores diários do potencial matricial de água no solo, para setembro variaram de -12,50 mmHg (-1,67 kPa) a -32,50 mmHg (-4,33 kPa), enquanto que, para dezembro, eles variaram de -15 mmHg (-2,00 kPa) a -470,00 mmHg (-62,66 kPa), sendo que no dia 30 de dezembro o potencial de água no solo foi nulo (zero).

No decorrer do mês de setembro os dados de armazenamento diário de água no solo (h_i) variaram de um valor máximo de 65,80 mm a um mínimo de 45,78 mm enquanto que, no decorrer de dezembro, variaram de 79,80 mm a 38,13 mm. Também pode ser verificado na Fig. 32a que em setembro, todos os seus valores ficaram acima do armazenamento referente a capacidade de campo (32,00 mm) e que, em dezembro, 83,87 % dos seus valores ficaram abaixo do armazenamento h_{CC} de 51,20 mm. Em ambos os meses os valores de h_S e h_{PMP} foram diferentes.

A Fig. 33 apresenta as mesmas informações da Fig. 24 para o solo da lavoura P12.



(a)



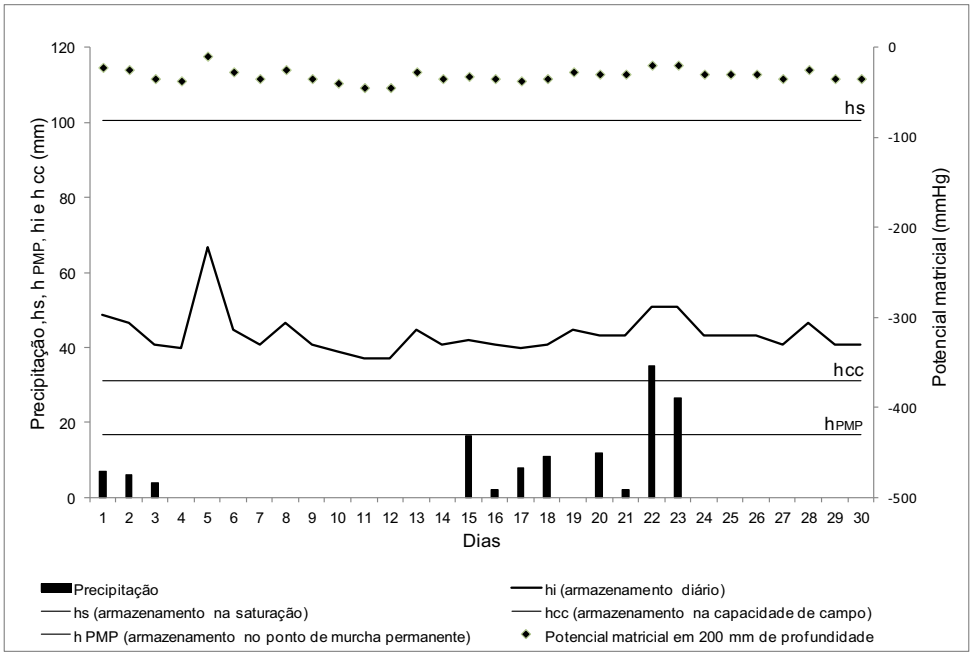
(b)

Figura 33. Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes a saturação do solo (h_S), a capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 33a) e dezembro (Fig. 33b) de 2007, na lavoura P12, faixa de 0-200 mm de profundidade.

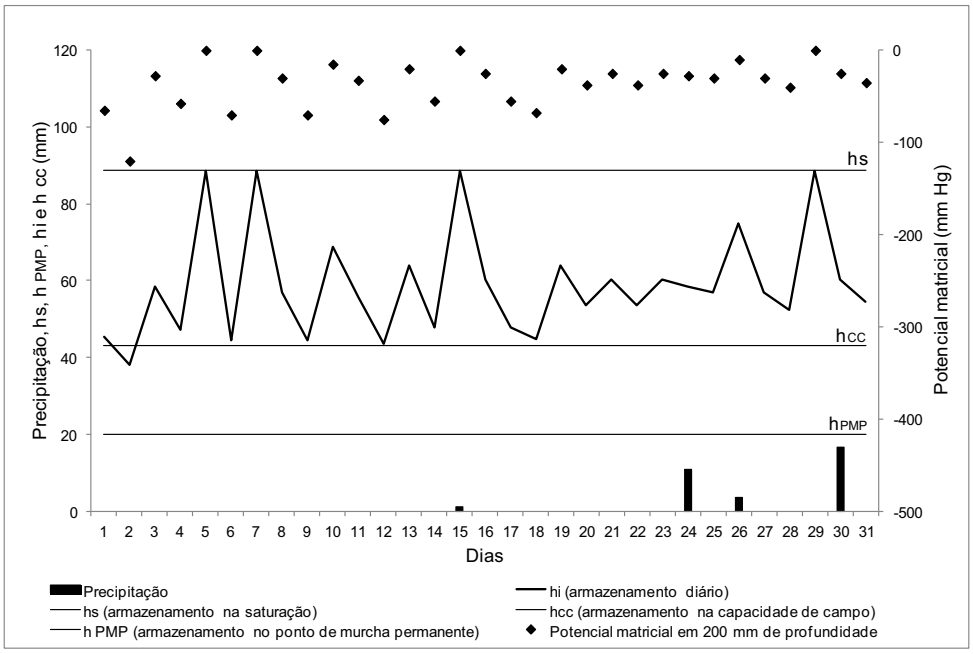
Na Fig. 33 verifica-se que os valores diários do potencial matricial de água no solo variaram, em setembro, de -10 mmHg (-1,33 kPa) a -55,00 mmHg (-7,33 kPa), enquanto que, em dezembro, variaram de -45 mmHg (-6,00 kPa) a -95,00 mmHg (-12,67 kPa), no dia 24 de setembro o potencial de água no solo foi nulo (zero).

Ao longo do mês de setembro os valores de (h_i) variaram de 101,60 mm a 44,58 mm enquanto que, ao longo do mês de dezembro variaram de 57,59 mm a 46,74 mm. Todos os valores de h_i ficaram acima de h_{CC} (41,20 mm) em setembro de 2007. Por outro lado 90,48 % dos valores de h_i ficaram acima de h_{CC} (49,40 mm) em dezembro. Em ambos os meses os valores de h_S e h_{PMP} foram diferentes.

A Fig. 34 apresenta as mesmas informações da Fig. 24 da lavoura P13.



(a)



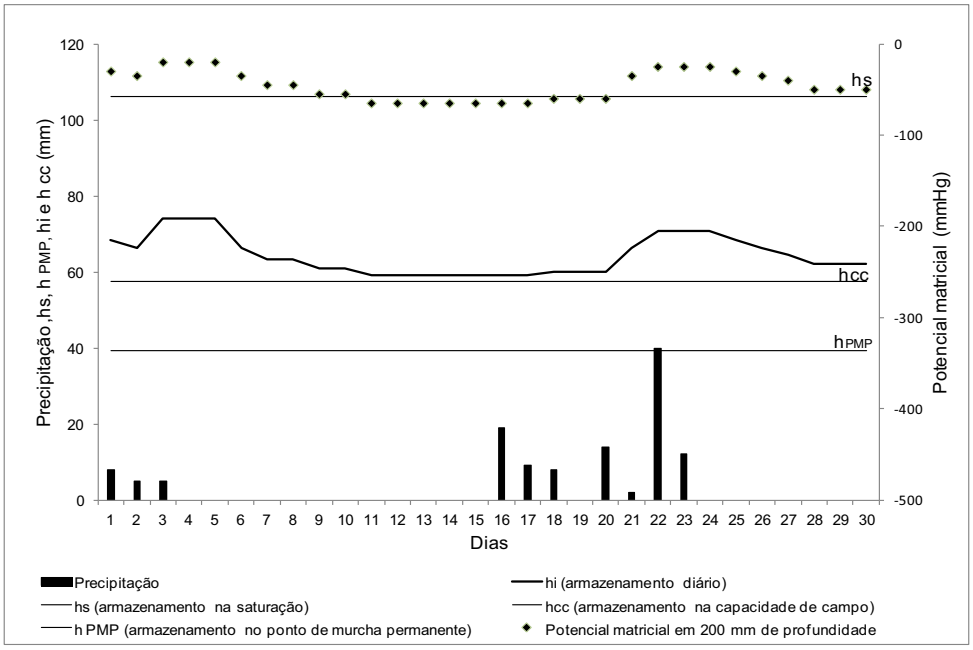
(b)

Figura 34. Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes a saturação do solo (h_S), a capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 34a) e dezembro (Fig. 34b) de 2007, na lavoura P13, faixa de 0-200 mm de profundidade.

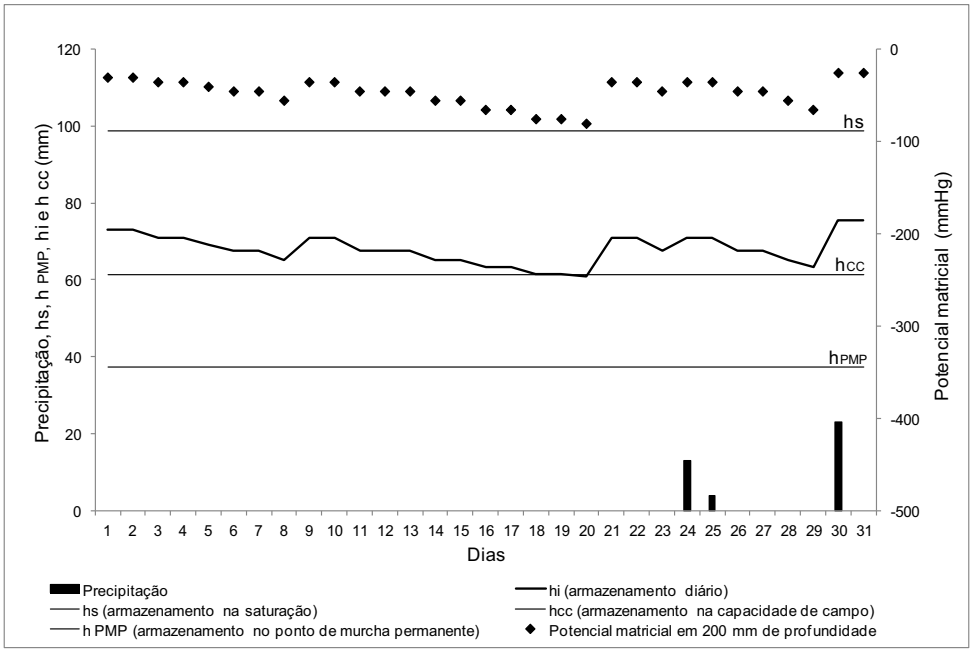
No mês de setembro os valores diários do potencial matricial de água no solo variaram de -10 mmHg (-1,33 kPa) a -45,00 mmHg (-6,00 kPa), conforme pode ser visto na Fig. 34a. Já em dezembro eles variaram de 0 (zero) a -120,00 mmHg (-16,00 kPa). Nos dias 5, 7, 15 e 29 de dezembro de 2007 os valores dos potenciais foram iguais a zero, provavelmente por ter ocorrido irrigação da lavoura, a lâmina de água armazenada diária chegou a atingir o armazenamento na saturação do solo.

Os dados referentes ao armazenamento diário de água no solo (h_i) variaram ao longo do mês de setembro de 66,87 mm a 37,15 mm, enquanto que, variaram de 88,60 mm a 38,20 mm, apresentando uma maior amplitude de variabilidade para dezembro. Por outro lado, também pode ser verificado que todos os valores de h_i ficaram acima de h_{CC} (31,00 mm) em setembro. Já em dezembro, 96,77% de seus valores ficaram acima do armazenamento referente à capacidade de campo que foi de 43,20 mm. Em ambos os meses, novamente, os valores de h_S e h_{PMP} foram diferentes.

A Fig. 35 apresenta as mesmas informações da Fig. 24 para o solo da lavoura P15.



(a)



(b)

Figura 35. Valores diários de precipitação, de armazenagem de água no solo (h_i) e do potencial matricial de água no solo bem como os valores de armazenagem referentes a saturação do solo (h_S), a capacidade de campo (h_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (h_{PMP}), para os meses de setembro (Fig. 35a) e dezembro (Fig. 35b) de 2007, na lavoura P15, faixa de 0-200 mm de profundidade.

Os valores diários do potencial matricial de água no solo, no mês de setembro, variaram de -20 mmHg (-2,67 kPa) a -65,00 mmHg (-8,67 kPa), enquanto que, eles variaram de -25 mmHg (-3,33 kPa) a -80,00 mmHg (-10,67 kPa) para o mês de dezembro. Os valores de h_i variaram de 74,22 mm a 59,18 mm ao longo do mês de setembro, enquanto que, variaram de 75,51 mm a 60,88 mm em dezembro. Todos os valores de h_i ficaram acima de h_{CC} em setembro e 96,77% de seus valores ficaram acima de h_{CC} em dezembro. Em ambos os meses, novamente, os valores de h_S e h_{PMP} foram diferentes.

Analisando as Figs. 24 a 35 observa-se que, em todas as lavouras, quando ocorreram precipitações os tensiômetros indicaram a diminuição dos valores de tensão de água no solo (ou aumento do potencial matricial) mesmo estando os canteiros cobertos pela lona plástica preta. No mês de setembro o valor do potencial de água no solo foi de 0 mmHg (zero) até um valor de -90,00 mmHg (-12,00 kPa). Para dezembro, a faixa de variação do potencial de água no solo foi de 0 mmHg (zero) a -470 mmHg (-62,66 kPa), ou seja, nos dois meses analisados os valores do potencial variaram de 0 kPa (solo saturado na faixa de 0 a 200 mm) a aproximadamente -63 kPa.

Os valores de armazenamento diário de água no solo (h_i), para o mês de setembro, foram superiores ao armazenamento de água na capacidade de campo (h_{CC}) nas lavouras P1, P2, P6, P7, P8, P9, P11, P12, P13 e P15. Nas lavouras P4 (nos dias 13 e 14/09) e P5 (no dia 10/09) os seus valores ficaram abaixo do armazenamento referente a capacidade de campo. Ou seja, como foi considerado neste trabalho a tensão de 10 kPa (potencial matricial de -10 kPa) referente a CC, que é considerado o limite superior da capacidade de água disponível no solo (ALBUQUERQUE, 2010), pode-se constatar que, de uma maneira geral, os produtores operaram os tensiômetros em valores abaixos da tensão de 10 kPa, o que não seria o indicado do ponto de vista de um adequado manejo de irrigação.

Somente no dia 02/12/2007 o valor do armazenamento de água no solo foi inferior ao relativo a capacidade de campo na lavoura P13, sendo que na P15 o seu valor foi inferior ao relativo a CC no dia 20/12/2007. O comportamento do armazenamento diário nas lavouras P1, P2, P5, P6, P8 e P12 oscilaram em torno do valor referente a CC, enquanto que para as demais (P4, P7, P9 e P11) eles ficaram entre o h_{CC} e o h_{PMP}.

O armazenamento diário de água no solo no mês de setembro foi maior na lavoura P12 (101,60 mm), seguido da P6 (88,00 mm) e da P2 (84,47 mm). Já para o mês de dezembro foi maior na P13 (88,60 mm) seguido da P6 (85,20 mm) e P11 (79,80 mm).

Conforme Amaro Filho, Assis Junior e Mota (2008) os microporos (poros com diâmetro menor que 30 μm), atuam no armazenamento de água no solo, pois nesses poros a água se move muito lentamente.

A Fig. 36 ilustra o comportamento dos valores de microporosidade do solo em função do armazenamento de água referente à capacidade de campo, enquanto que a Fig. 37 apresenta a relação de dependência da quantidade de água armazenada entre a saturação (h_S) e a capacidade de campo (h_{CC}) em função da macroporosidade do solo, em % de volume de poros. Analisando ambas as figuras, verifica-se que os resultados encontrados estão de acordo com o esperado já que em ambas as figuras foi encontrada uma relação linear positiva entre os valores de armazenamento e microporosidade, e de macroporosidade.

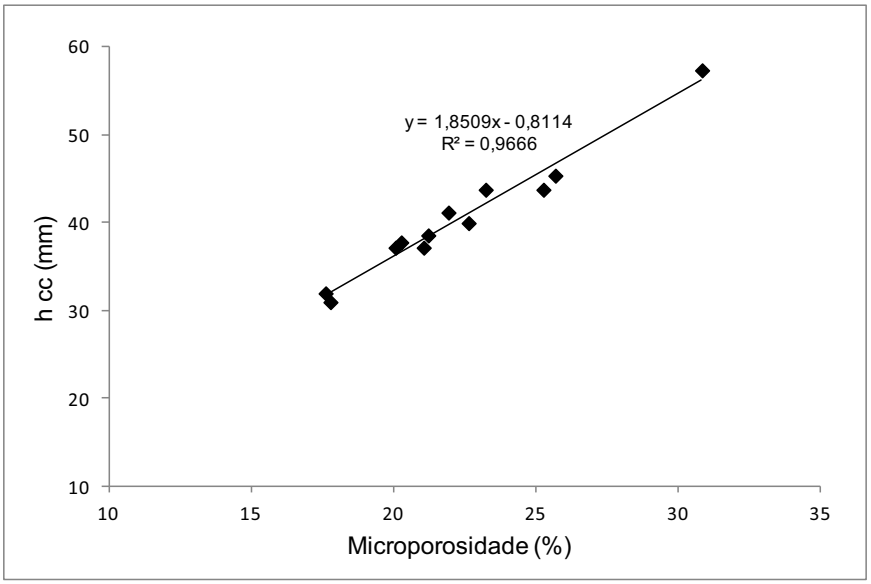


Figura 36. Valores de microporosidade do solo em função do armazenamento de água referente à capacidade de campo em 12 lavouras de morango localizadas em Turuçu-RS.

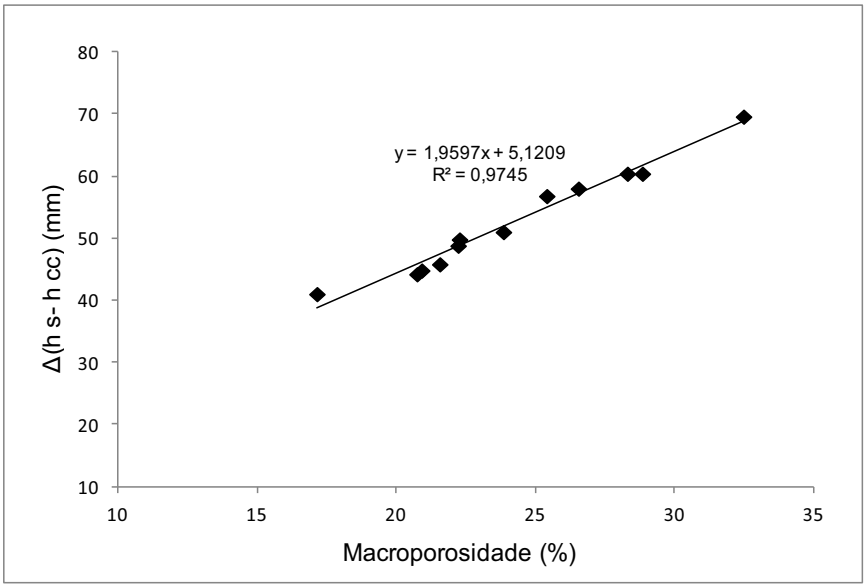


Figura 37. Relação entre a diferença dos valores de armazenamento referentes à saturação e à capacidade de campo Δ (h_S – h_{CC}) em função da macroporosidade do solo em 12 lavouras de morango localizadas em Turuçu-RS.

Baseado no exposto anteriormente, pode-se constatar que a maior parte dos produtores de morango aplicaram quantidades de água superiores ao necessário para um manejo de irrigação racional, baseado nas características físico-hídricas do solo durante os meses aqui avaliados. O excesso de água para a cultura do morango pode ocasionar a deficiência de aeração para as raízes, queda na produtividade e qualidade do morango e maior incidências de doenças e fungos dentre outros. Desta forma, ocorreu uma situação de desperdício de água e consequentemente um consumo elevado de energia elétrica em função do acionamento do sistema durante um intervalo de tempo maior do que o necessário. Outra consequência seria a lixiviação da água e dos nutrientes provenientes de fertilizantes adicionados via fertirrigação, podendo causar uma deficiência nutricional ao morangueiro. Além disso, este problema pode acarretar na poluição das fontes de captação de água para a irrigação.

4.3.3. Variabilidade espacial e temporal do armazenamento diário de água no solo em lavouras de morango localizadas no município de Turuçu-RS, para os meses de setembro e dezembro de 2007.

O gráfico de caixas apresentado na Fig. 38 ilustra a distribuição espacial e temporal dos valores de armazenamento diário de água no solo, na faixa de profundidade de 0-200 mm, em cada uma das 12 lavouras de morango para o mês de setembro de 2007.

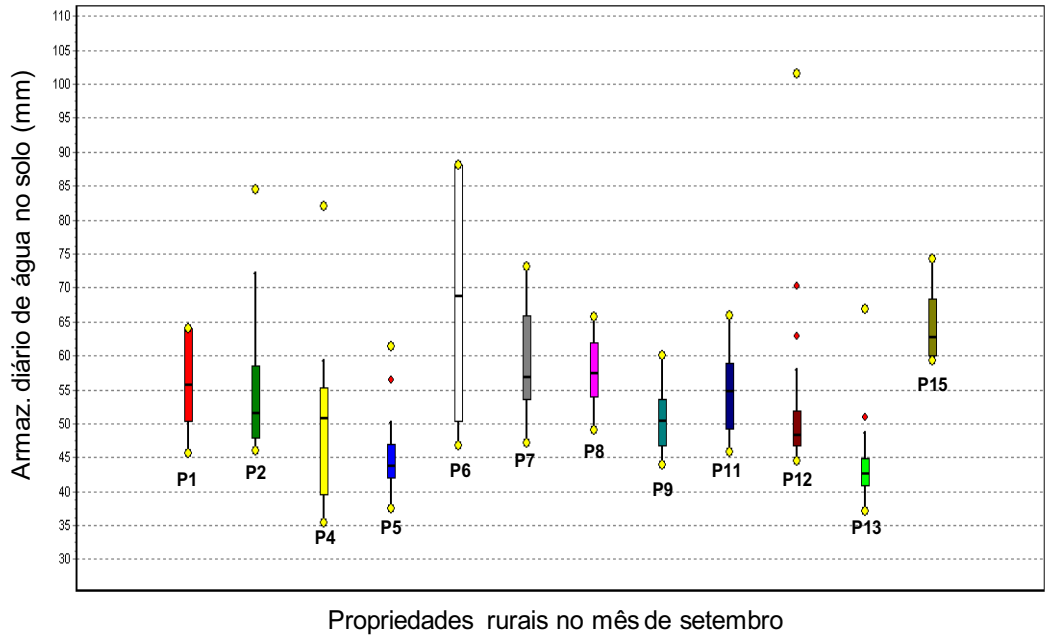


Figura 38. Distribuição espacial e temporal do armazenamento diário de água no solo em cada uma das 12 lavouras de morango para o mês de setembro de 2007.

Na Fig. 38 é possível observar que os valores da mediana dos conjuntos de dados de armazenamento diário de água no solo oscilaram ao longo do mês de setembro, não apresentando uma nítida tendência de comportamento. Também pode ser constatado que nas lavouras P6 e P15 os valores de mediana foram superiores aos valores nos demais conjuntos de dados. Já os valores da mediana do conjunto de dados de armazenamento diário nas lavouras P1, P7, P8 e P11 são ligeiramente próximos. Por outro lado, os menores valores de mediana foram encontrados nas lavouras P5 e P13.

Os conjuntos de dados de armazenamento referentes as lavouras P2, P4, P5, P12 e P13 apresentaram somente valores discrepantes superiores, sendo que

na P12 o maior valor discrepante foi encontrado quando comparado com as demais anteriores, provavelmente devido ao evento de precipitação de 52 mm ocorrido no dia 23/09/2007 (Fig. 33a) nesta propriedade. As menores amplitudes interquartílicas de variabilidade temporal dos valores de armazenamentos diários foram encontradas nos conjuntos referentes as lavouras P13 (4,03 mm), P5 (4,97 mm) e P12 (5,13 mm), enquanto que as maiores amplitudes foram encontradas nas lavouras P6 (37,62 mm), P4 (15,63 mm) e P1 (13,62 mm).

O gráfico de caixas representado na Fig.39 apresenta a distribuição espacial e temporal dos valores de armazenamento diário de água no solo, na profundidade de 0-200 mm, em cada uma das 10 lavouras para o mês de dezembro de 2007.

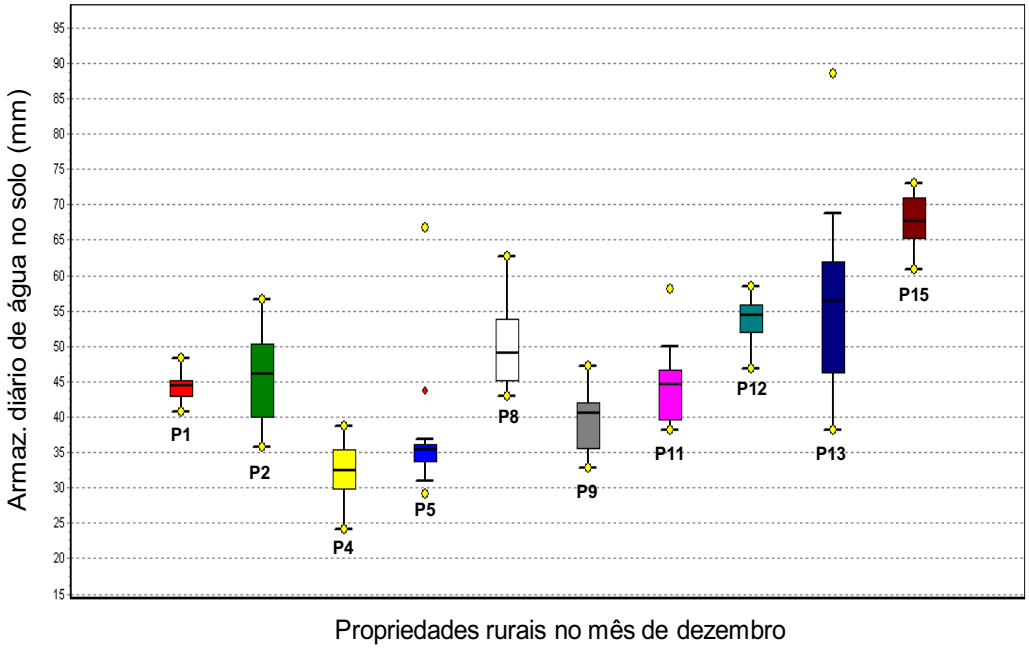


Figura 39. Distribuição espacial e temporal do armazenamento diário de água no solo, em 10 lavouras de morango de Turuçu-RS, ao longo do mês de dezembro de 2007.

Na Fig. 39 é possível observar que os valores de mediana dos conjuntos de dados de armazenamento diário de água no solo oscilaram ao longo do mês de dezembro, não indicando uma nítida tendência de comportamento. Pode ser constatado que nas lavouras P15 e P13 os valores de mediana foram superiores aos valores nos demais conjuntos de dados. Já nas lavouras P1 e P11 eles são ligeiramente próximos. Por outro lado, os menores valores de mediana foram encontrados nas lavouras P4 e P5.

Os conjuntos de dados de armazenamento referentes as lavouras P5, P11 e P13 apresentaram valores discrepantes superiores, sendo que na P13 o maior valor discrepante foi encontrado quando comparados com as anteriores. Já a lavoura P5 apresenta também um valor discrepante inferior. As menores amplitudes interquartílicas de variabilidade temporal dos valores de armazenamentos diários foram encontradas nos conjuntos referentes as lavouras P1 (2,18 mm), P5 (2,34 mm) e P12 (3,95 mm), enquanto que as maiores foram encontradas nas lavouras P13 (15,81 mm), P2 (10,28 mm) e P8 (8,52 mm).

4.4. Conclusões

O manejo de irrigação adotado pelos produtores de morango em Turuçu-RS é completamente empírico já que parâmetros técnicos não tem sido levados em consideração no momento de irrigar e no quanto irrigar.

Os valores do armazenamento diário de água no solo, na faixa de profundidade de 0 a 200 mm, foram superiores ao armazenamento referente à capacidade de campo, em dez lavouras de morango para todo o mês de setembro de 2007, com exceção para duas lavouras. Para o mês de dezembro de 2007, em quatro lavouras o armazenamento diário de água no solo ficou acima do referente à capacidade de campo, enquanto que em outras quatro ele foi aproximadamente igual ao referente à capacidade de campo. Nas demais lavouras, o valor do armazenamento ficou entre o armazenamento na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente.

Não foi identificado um padrão de comportamento espacial e temporal nem para os valores de CAD nem para os de armazenamento diário de água no solo, profundidade de 0 a 200 mm, nos meses de setembro e dezembro de 2007.

As características físico-hídricas capacidade de campo e ponto de murcha permanente, ditas na literatura como “constantes”, não devem ser adotadas como fixas no manejo da irrigação, ao longo do tempo, a ser executado pelos produtores de morango.

5. CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO DE DUAS PEQUENAS BARRAGENS DE TERRA AGRÍCOLAS EM TURUÇU-RS

5.1. Introdução

A retenção e o armazenamento da água constituem a única maneira de garantir um fornecimento seguro e continuado de água de forma a atender às diversas demandas hídricas ao longo do tempo. Dentre as formas de armazenamento existentes, a barragem é uma das mais utilizadas. Em algumas comunidades agrícolas que dependem, por exemplo, da irrigação, os reservatórios são fundamentais para a melhoria do bem-estar socioeconômico das famílias (RODRIGUES, 2006).

Devido a muitas propriedades localizarem-se distantes de mananciais d'água ocorre a necessidade de implantação de pequenas barragens de terra agrícolas (PBTAs), que possibilitam o aumento da produtividade agrícola, por meio da irrigação, abastecimento, criação de peixes (MATOS, SILVA e PRUSKI, 2003).

De acordo com Rolim, Diniz e Pereira (2005) a definição de pequena barragem de terra varia na literatura: conforme o Manual de Irrigação do Ministério da Integração Regional a altura máxima do maciço deve ser de 10 m (HRADILEK et al., 2002); *Bureau of Reclamation* (1987): altura máxima do maciço de 15 m; Manual de Segurança e Inspeção de Barragens do Ministério da Integração Regional (2002): altura máxima do maciço de 15 m e capacidade do reservatório menor que 1.000.000 m³; e Molle e Cardier (1992): altura máxima do maciço de 10 m.

Carvalho (2008) menciona que é comum encontrar em várias propriedades agrícolas barragens construídas sem qualquer dimensionamento técnico, na maioria das vezes, construídas sem obedecer a itens básicos de segurança. Isto acontece, em grande parte, com intuito de reduzir os custos. Mediante as necessidades de

avaliação de PBTAs, estabeleceram-se hipóteses que servem de base para as observações a serem realizadas quando da inspeção destas, objeto deste trabalho, com a perspectiva de serem traçadas diretrizes futuras para os projetos de PBTAs. As hipóteses são as seguintes:

1) Não ocorrem rupturas de taludes, exceto quando apoiadas em solos moles ou que sejam empregados taludes muito íngremes no aterro.
2) Ocorrem surgências no talude jusante e, talvez processos retroerosivos, uma vez que as barragens foram construídas sem dispositivos de drenagem.
3) Ocorrem problemas de erosão no talude de montante devido à falta de proteção (enrocamento).
4) O talude de jusante, devidamente gramado, não sofre problemas de erosão. O único problema está relacionado ao tráfego de animais.
5) O vertedouro é, na maior parte das situações, sub-dimensionado.

As duas barragens escolhidas para caracterização são representativas, sob diversos aspectos, das condições regionais (Turuçu–RS) - barragens construídas pelos próprios agricultores, que na maioria das vezes dispõem de pouca orientação técnica na escolha do local, na escolha dos materiais e na construção dos mesmos. Este trabalho teve como objetivo caracterizar diversos aspectos relacionados às PBTAs, avaliar as suas condições de segurança e propor alternativas técnicas, de baixo custo, que venham a qualificar o desempenho das PBTAs regionais.

5.2. Material e Métodos

5.2.1. Localização

As PBTAs estudadas, das propriedades P12[2] (Fig. 40) e P13[2] (Fig. 41), estão localizadas próximas à sede das propriedades rurais, situadas na micro-região da Picada Flor, no município de Turuçu-RS. Os proprietários fazem parte da

[2] Denominação dada a duas das quinze propriedades rurais que participaram do Projeto ”Variabilidade espacial e temporal da qualidade da água de irrigação e seu impacto ambiental no sistema familiar de produção de morango do pólo produtivo do município de Turuçu-RS”, no ano de 2007.

Associação de Produtores de Morango do município. As coordenadas das respectivas sedes são: P12, 31°26´50,1" de latitude sul e 52°16´45,1" de longitude oeste e P13, 31°26'23,5" de latitude sul e 52°16'49,0" de longitude oeste.

Figura 40. PBTA na propriedade P12.

Figura 41. PBTA na propriedade P13.

5.2.2. Caracterização das pequenas barragens de terra agrícolas (PBTAs)

O trabalho de caracterização realizado nas PBTAs envolveu os seguintes estudos:

a) Geometria do aterro;

b) Geometria do vertedouro;

c) Estudos geotécnicos;

d) Avaliação das condições de segurança; e

e) Vazão de projeto e dimensionamento do vertedouro.

5.2.2.1. Geometria do aterro

A geometria das barragens estudadas foi obtida a partir de levantamento *in situ*. As medidas de taludes a jusante e das cristas das barragens foram obtidas com uso de trena e as inclinações dos taludes por meio de um medidor de ângulo digital Bosch DWM 40L Professional, instrumento que permite verificar o ângulo e/ou o percentual de inclinação dos taludes. De acordo com entrevista realizada com os produtores rurais, as inclinações dos dois taludes (montante e jusante) são iguais, sendo que hoje existe erosão nos taludes a montante das duas barragens, possivelmente pela formação de ondas e pela ação de ventos, criação de peixes como carpas e outros. A Fig. 42 ilustra a seção transversal do maciço da propriedade P12, com as medidas da crista, do comprimento do talude a jusante, da altura, do ângulo de inclinação dos taludes e do comprimento total da base.

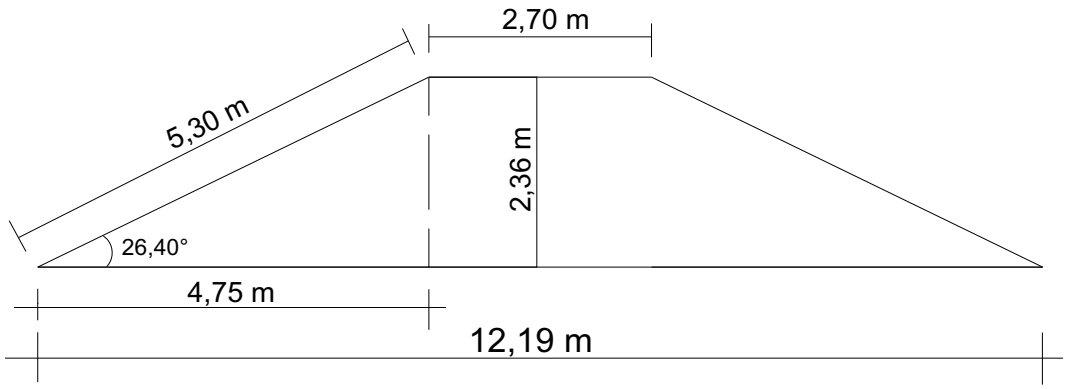


Figura 42. Croqui da geometria da seção transversal do maciço de terra da propriedade P12.

Na Fig. 43 observa-se a seção transversal do maciço da propriedade P13, com as medidas da crista, do comprimento do talude a jusante, da altura, do ângulo de inclinação dos taludes e do comprimento total da base.

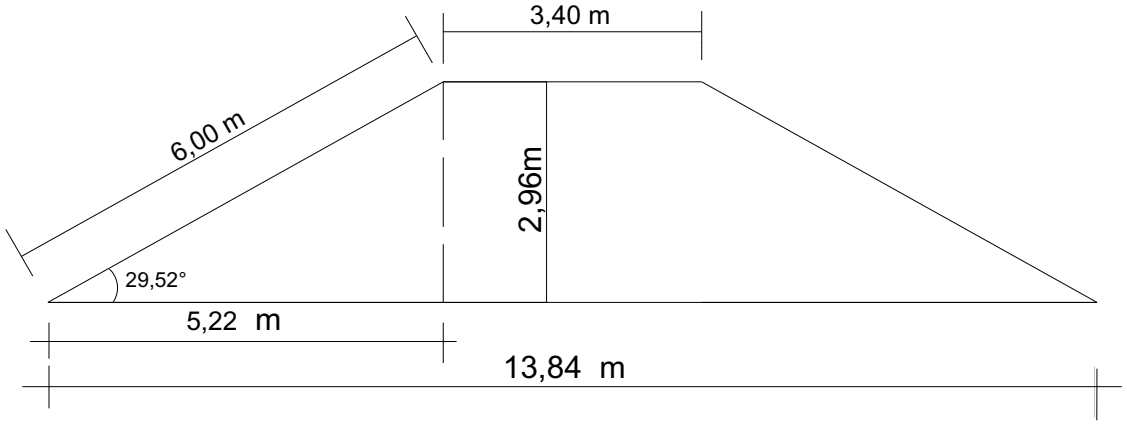


Figura 43. Croqui da geometria da seção transversal do maciço de terra da propriedade P13.

5.2.2.2. Geometria do vertedouro

Com relação à propriedade P13, o vertedouro existente possui as seguintes dimensões: altura de 0,20 m e largura de 1,20 m, sendo este locado no final de uma das ombreiras desta barragem. A abertura do vertedouro foi feita na própria ombreira com inclinação de 0,9% no sentido do fluxo. Com respeito à propriedade P12 foi observado que há um vertedouro de aproximadamente 3 m de largura e sem altura definida que deságua em uma estrada de terra. Esta barragem possui uma tubulação com diâmetro de 75 mm, localizada em nível inferior ao vertedouro, que contribui também para extravasar a água em excesso do reservatório.

5.2.2.3. Estudos geotécnicos

5.2.2.3.1. Coleta de amostras

As amostras de solo coletadas foram do tipo deformadas integrais, que conservam apenas os componentes do solo, não havendo preocupação em manter o estado em que se encontram. A escolha dos locais de coletas das amostras seguiram as características de cada barramento, considerando os locais mais

suscetíveis a problemas ou que já demonstravam alguma deficiência evidenciada no local. As amostras foram retiradas com o uso de trado (Holandês), com profundidade máxima de 100 cm. A coleta foi realizada por escalonamento, ou seja, a cada 20 cm (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e de 80-100 cm) de profundidade. As amostras foram colocadas em sacos plásticos devidamente identificados.

Os pontos de coleta (P_n) de solo estão localizados na crista, no talude de jusante e no pé da jusante locados conforme Fig. 44.

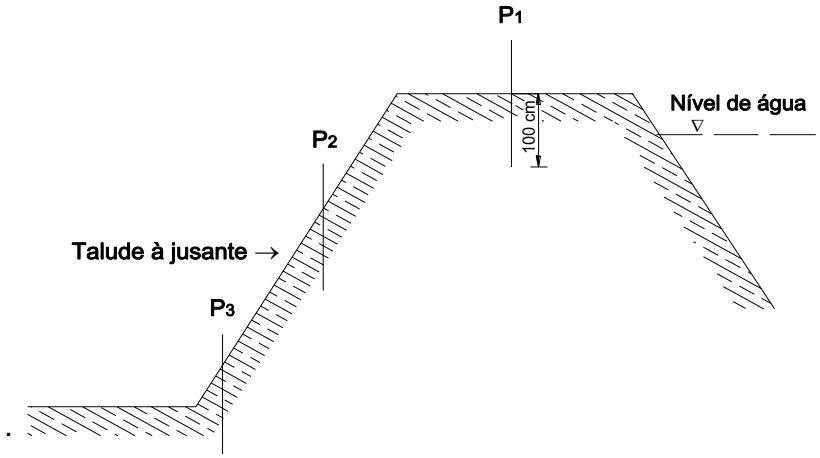


Figura 44. Seção transversal do maciço de terra com a indicação dos pontos de coleta.

A Fig. 45 ilustra o momento da coleta de amostras nos maciços de terra das barragens com uso do trado.

(a) (b)

Figura 45. Coleta de amostras de solo nos maciços: a) trado utilizado; b) retirada da amostra de solo.

5.2.2.3.2. Ensaios laboratoriais

Utilizou-se neste trabalho o ensaio das pastilhas, associado à análise granulométrica e resistência a seco, em virtude de constituírem ensaios simples e de baixo custo.

Os ensaios das pastilhas foram realizados com uma alteração importante, em relação ao proposto por Nogami (1997): foi usado o solo passado na peneira nº 200 (0,075 mm), diferente do procedimento original, que usa o material passado na peneira nº 40 (0,042 mm). Deste modo, pretendeu-se avaliar exclusivamente o comportamento da fração fina (expansão-contração e velocidade de expansão). Baixas penetrações nas pastilhas (menor ou igual a 2 mm) indicam presença significativa de argilo-minerais na fração fina (menor permeabilidade) e maior resistência à erosão. Solos que possuem elevadas penetrações em 24 horas têm presenças significativas da fração silte ou de argilos-minerais sódicos. Estes materiais têm baixa resistência à erosão. Os materiais siltosos apresentam permeabilidades elevadas para a utilização em barragens de terra. A Fig. 7 ilustra o processo retroerosivo estabelecido na Barragem Santa Bárbara (Pelotas-RS) cujo material do maciço é constituído por argilas sódicas. Na sequência é apresentada a descrição e os procedimentos dos ensaios:

Ensaio do Método das Pastilhas:

A descrição do ensaio pelo método das pastilhas segue o procedimento proposto por Nogami e Villibor (1994) (Figs. 46 a 50):

1. Passar o solo na peneira nº 200 (0,075 mm).

(a) (b) (c)

Figura 46. Etapas do peneiramento: a) destorroar o solo; b) colocar o solo na peneira nº 200; c) resultado do peneiramento.

2. Umedecer o solo passado na peneira nº 200 até obter uma pasta que apresente uma penetração de 1 mm, com uso do penetrômetro padrão.

(a) (b) (c)

Figura 47. Etapas de preparação do solo para fazer as pastilhas: a) umedecer o solo que passou na peneira nº 200; b) pasta de solo; c) uso do penetrômetro na pasta de solo.

3. Moldar as pastilhas em anéis de 20 mm de diâmetro interno e 5 mm de altura.

(a) (b) (c)

Figura 48. Moldagem das pastilhas: a) acessórios para moldagem; b) execução da moldagem das pastilhas; c) pastilhas já moldadas.

4. As pastilhas devem ser colocadas dentro da estufa a 60ºC por um período que varia de duas a doze horas**,** posteriormente será medida a contração diametral das pastilhas.

(a) (b) (c)

Figura 49. Etapas para a medição da contração diametral das pastilhas: a) pastilhas na estufa; b) medição das pastilhas com paquímetro; c) pastilhas com a planilha de dados.

5. Transferir as pastilhas para uma superfície de placa porosa saturada, com água, e recoberta por papel filtro. Deixar a pastilha em repouso e efetuar as medidas de penetração (em mm), após vários períodos de tempo, com o penetrômetro padrão.

(a) (b) (c)

Figura 50. Pastilhas nas placas porosas: a) placas porosas; b) placas porosas com papel filtro e as pastilhas; c) placas porosas com as pastilhas e uso do penetrômetro sobre as pastilhas.

Ensaio de Resistência a Seco:

A descrição do ensaio de resistência a seco foi realizada seguindo procedimentos propostos por Nogami e Villibor (1997). Este ensaio consiste na

avaliação indireta da quantidade e do tipo de finos existentes no solo em estudo. As Figs. 51 e 52 ilustram o procedimento que é descrito a seguir.

-Passar uma amostra de solo na peneira nº 10 (2,0 mm), umedecer e moldar uma esfera com cerca de 20 mm de diâmetro;

(a) (b) (c)

Figura 51. Etapas de moldagem das esferas: a) peneirar uma amostra de solo na peneira nº 10; b) umedecer o solo que passou na peneira; c) moldagem das esferas com o solo úmido.

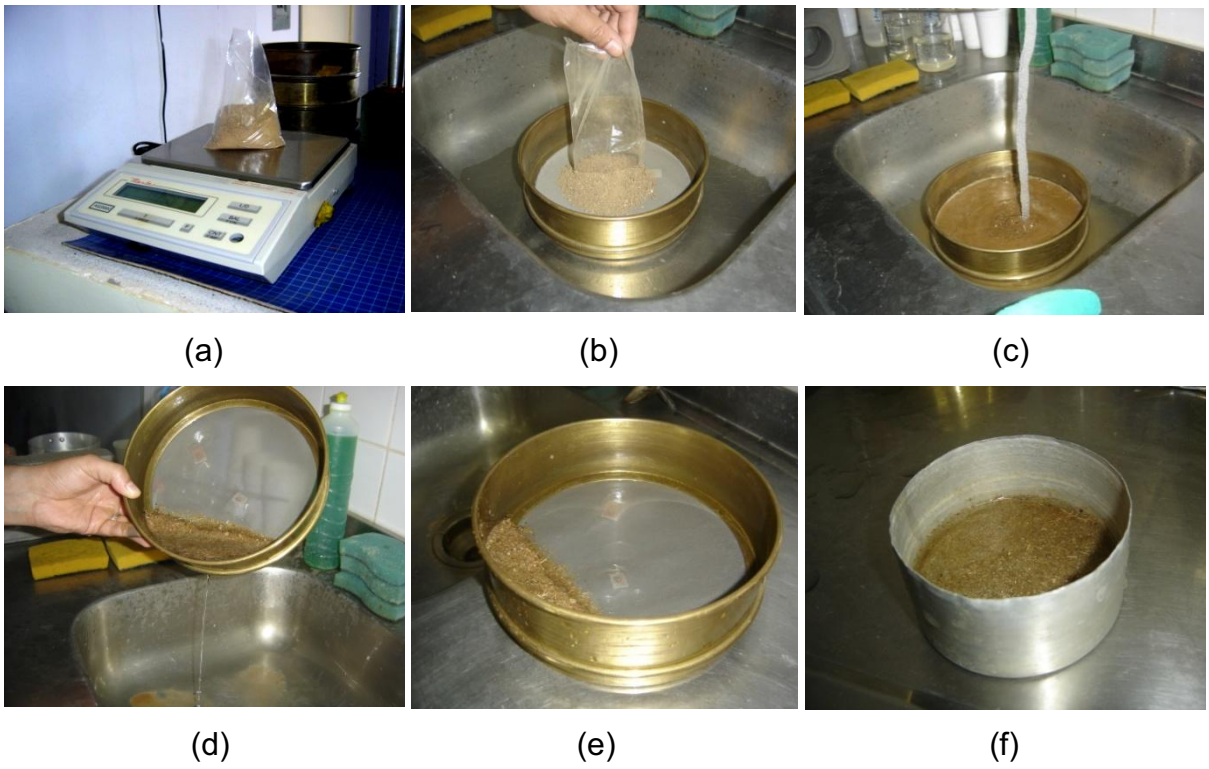
-Deixar a esfera secar lentamente e avaliar a resistência a seco; a resistência a seco é baixa quando é possível quebrar a esfera facilmente com os dedos; a resistência a seco é média se for possível quebrar a esfera quando apoiada sobre um plano liso e duro; e a resistência a seco é alta caso não seja possível quebrar a esfera em nenhuma circunstância.

(a) (b) (c)

Figura 52. Verificação da resistência a seco da amostra de solo: a) tentativa de quebrar a esfera com os dedos; b) tentativa de quebrar a esfera apoiada em plano liso e duro; c) tentativa de quebrar a esfera exercendo uma força muito grande.

Ensaio de Análise Granulometrica (a Fig. 53 ilustra o procedimento).

-Pesar a amostra de solo seco e, posteriormente, lavar na peneira n° 200 em água corrente até a água sair limpa, anotando o tempo.



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

Figura 53. Etapas iniciais para o ensaio de análise granulométrica: a) selecionar uma amostra de solo e pesar em uma balança de precisão (0,10 g) digital; b) colocar o solo em uma peneira n° 200; c) lavar o solo em água corrente; d) lavar o solo até que a água de lavagem fique límpida; e) solo lavado na peneira; e f) solo lavado em recipiente para levar à estufa.

Deixar o recipiente com solo lavado na estufa com temperatura de 60°C até retirar a umidade do solo. Posteriormente passar nas peneiras n^{os} 4, 10, 40 e 200, pesar e anotar o percentual retido em cada uma das peneiras.

Ensaio de permeabilidade:

Os ensaios realizados de permeabilidade *in situ* seguiram as especificações de ENSAIOS DE PERMEABILIDADE EM SOLOS - Orientações para sua execução

(OLIVEIRA, 1996). O ensaio de nível constante é realizado através da manutenção do nível d´água, num furo de sondagem, poço ou trincheira, numa posição constante ao longo de toda duração do ensaio e é descrito a seguir.

Definição do trecho a ser ensaiado: Em sondagem não revestida, nos ensaios de nível constante de água, o trecho de ensaio corresponde a distância vertical entre a posição do nível d'água e o fundo do furo.

Equipamentos utilizados: proveta graduada, com capacidade de um litro, funil, trado do tipo rosca, escarificador construído por uma haste de madeira com vários pregos semi-cravados, "cap" para proteção do furo e medidor do nível de água.

Execução e acompanhamento dos ensaios: enche-se o furo com água (água sem material em suspensão visível), até o nível superior do furo, considerando este instante como tempo zero. O nível de água no furo deve ser mantido constante, alimentado por uma fonte apropriada, medindo-se o volume de água introduzido durante certo intervalo de tempo (vazão). A quantidade de água para a realização do ensaio de carga envolve o volume necessário para encher o furo, o volume necessário para "saturar" o terreno no entorno até atingir uma vazão constante.

De acordo com as especificações de Oliveira (1996), e com os dados do ensaio encontrados, acima do nível d'água o $\boldsymbol{Ks}$ (coeficiente de permeabilidade) pode ser determinado conforme a equação 3:

$$\boldsymbol{Ks} = \frac{\boldsymbol{Q}}{\boldsymbol{h}} \cdot \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{Cu.r}} \qquad (3)$$

onde,

$\boldsymbol{Q}$ = vazão após a saturação ($cm^3\ s^{-1}$);

$\boldsymbol{h}$ = profundidade do furo (cm);

$\boldsymbol{r}$ = raio do furo (cm);

$\boldsymbol{L}$ = profundidade de infiltração no furo (cm);

$\boldsymbol{Cu}$ = coeficiente de condutividade, encontrado em ábaco, onde se relaciona $\boldsymbol{h/r}$ e $\boldsymbol{L/h}$.

Condição para a determinação da profundidade do furo:

$\boldsymbol{Tu > 3h}$

onde,

$\boldsymbol{Tu}$ = distância vertical entre o nível de água no furo e o nível do lençol freático (cm).

O valor para $\boldsymbol{Tu}$ adotado foi de 1,0 m, considerando que as sondagens não detectaram a presença do lençol freático até esta profundidade.

5.2.2.3.3. Determinação da vazão de projeto e dimensionamento do vertedouro

Para o cálculo da vazão máxima prevista devido ao escoamento superficial de pequenas bacias de contribuição, no caso para as PBTAs das propriedades P12 e P13, foi usado o Método Racional (equação 4):

$$\boldsymbol{Q_{máx}} = \frac{C \times i_m \times A}{360} \quad (4)$$

onde,

$\boldsymbol{Q_{máx}}$ = vazão máxima de escoamento superficial ($m^3\ s^{-1}$);

C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

i_m = intensidade máxima média de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração ($mm\ h^{-1}$); e

A = área da bacia de drenagem (ha).

Em virtude do município de Turuçu-RS não possuir uma estação meteorológica que possibilite o acesso público aos dados referentes à região estudada, utilizou-se a equação 5 que representa as relações IDF estimadas por Goulart et al. (1992) para a cidade de Pelotas-RS.

$$I = \frac{1253{,}0975 + 64{,}7169 \times \ln(Tr)}{(t+5)^{0{,}8277.Tr^{-0{,}018}}} \quad (5)$$

onde,

I = intensidade de precipitação (mm h^{-1});

Tr = período de retorno (anos); e

t = tempo de duração (minutos).

A equação 6 usada para determinação do tempo de concentração é indicada para pequenas bacias hidrográficas, de acordo com Matos, Silva e Pruski (2003).

$$t_c = 51{,}79\left(\frac{L^2}{I}\right)^{1/3} \quad (6)$$

onde,

t_c = tempo de concentração (min.);

L = comprimento horizontal do talvegue até o ponto mais afastado da bacia (km); e

I = declividade média do talvegue (m km^{-1}).

Para o dimensionamento dos vertedouros, neste estudo, foi usada a equação 7, considerando o vertedouro posicionado sobre o corpo da barragem no final do maciço.

$$L = \frac{Q_{máx}}{1{,}71 \times h_{máx}^{3/2}} \quad (7)$$

onde,

L = largura do vertedouro (m);

$Q_{máx}$= vazão máxima (m^3 s^{-1}); e

$h_{máx}$= altura máxima de lâmina d'água (m) desejada no vertedouro (arbitrada).

5.3. Resultados e Discussão

5.3.1. Resultados dos ensaios do método das pastilhas, resistência a seco e granulometria

O valor da resistência a seco reflete a presença de argilo-minerais (tipo e quantidade) e, portanto está intimamente relacionado à permeabilidade do material. Resistências a seco muito altas estão associadas à condição necessária para que um material tenha permeabilidade baixa. A análise granulométrica tem a função de ensaio complementar. Nas tabelas 8, 9 e 10 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais do método das pastilhas, resistência a seco e análise granulométrica referentes à barragem da propriedade P13, enquanto que as tabelas 11, 12, 13 e 14 os referentes à propriedade P12.

Tabela 8. Resultados dos ensaios na barragem da P13 (furos 1 e 2)

LOCALIZAÇÃO	**FURO**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
Crista	Profundidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm	80 – 100 cm
ANÁLISE GRANULOMÈTRICA	% maior do que a # 4	0,6	0,8	0,4	0,9	4,6
	% maior do que a # 10	4,9	5,7	0,6	4,9	16,8
	% maior do que a # 40	20,3	25,6	24,1	19,7	34,7
	% maior do que a # 200	41,9	53,4	47,1	40,8	55,7
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	1,67 mm	1,3 mm	2,0 mm	2,0 mm	1,13 mm
	Penetração (5 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (15 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (30 minutos)	0	0	0	0	3 mm
	Penetração (2 horas)	0	0	0	0	3 mm
	Penetração (24 horas)	0	0	0	0	3 mm
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta
LOCALIZAÇÃO	**FURO**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**
Talude de jusante	Profundidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm	80 – 100 cm
ANÁLISE GRANULOMÈTRICA	% maior do que a # 4	0,8	0,6	0,1	0,3	0,1
	% maior do que a # 10	7,3	7,7	4,4	3,4	2,4
	% maior do que a # 40	21,7	19,9	19,3	18,6	19,7
	% maior do que a # 200	41,8	36,1	42,3	42,6	46,0
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	2,0 mm	2,2 mm	1,7 mm	2,0 mm	1,4 mm
	Penetração (5 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (15 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (30 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (2 horas)	0	0	0	0	0
	Penetração (24 horas)	0	0	0	0	0
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta

Tabela 9. Resultados dos ensaios na barragem da P13 (furos 3 e 4)

LOCALIZAÇÃO	**FURO**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**
Pé de jusante	Profundidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm	80 – 100 cm
ANÁLISE GRANULOMÈTRICA	% maior do que a # 4	1,0	0,3	0,2	0,8	1,7
	% maior do que a # 10	4,3	1,4	2,5	5,4	8,5
	% maior do que a # 40	20,5	17,8	24,5	22,4	24,4
	% maior do que a # 200	43,1	47,6	56,4	47,2	48,3
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	1,7 mm	1,5 mm	1,2 mm	1,9 mm	1,8 mm
	Penetração (5 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (15 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (30 minutos)	0	0	1 mm	0	0
	Penetração (2 horas)	0	0	2 mm	0	0
	Penetração (24 horas)	0	0	2 mm	2 mm	0
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta
LOCALIZAÇÃO	**FURO**	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**
Crista	Profundidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm	80 – 100 cm
ANÁLISE GRANULOMÈTRICA	% maior do que a # 4	0,8		1,1	2,1	1,1
	% maior do que a # 10	8,9	7,3	7,7	11,60	7,6
	% maior do que a # 40	25,8	24,7	22,6	27,3	25,7
	% maior do que a # 200	47,2	47,9	44,1	49.4	45,5
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	1,9 mm	1,5 mm	2,1 mm	2,37 mm	2,43 mm
	Penetração (5 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (15 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (30 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (2 horas)	0	0	0	0	0
	Penetração (24 horas)	0	0	0	2mm	0
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta

Tabela 10. Resultados dos ensaios na barragem da P13 (furos 5 e 6)

LOCALIZAÇÃO	**FURO**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**
Talude a jusante	Profundidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm	80 – 100 cm
ANÁLISE GRANULOMÈTRICA	% maior do que a # 4	2,2	2,7	3,5	0,1	1,8
	% maior do que a # 10	8,9	13,4	12,2	3,2	9,9
	% maior do que a # 40	29,4	31,4	29,5	17,9	25,1
	% maior do que a # 200	59,2	57,9	51,1	42,6	45,6
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	1,7 mm	1,9 mm	2,5 mm	1,8 mm	1,97 mm
	Penetração (5 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (15 minutos)	22’ = 5 mm	19’=5 mm	0	0	0
	Penetração (30 minutos)	5 mm	5 mm	0	0	0
	Penetração (2 horas)	5 mm	5 mm	0	0	0
	Penetração (24 horas)	5 mm	5 mm	0	0	0
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta
LOCALIZAÇÃO	**FURO**	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**
Pé de jusante	Profundidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm	80 – 100 cm
ANÁLISE GRANULOMÈTRICA	% maior do que a # 4	0,4	0,4	0,6	0,3	0,1
	% maior do que a # 10	4,3	8,7	5,8	3,3	2,5
	% maior do que a # 40	23,0	24,3	18,3	15,8	15,6
	% maior do que a # 200	49,0	43,5	21,8	37,8	39,3
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	1,8 mm	1,8 mm	1,8 mm	1,7 mm	2,23 mm
	Penetração (5 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (15 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (30 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (2 horas)	0	0	0	0	0
	Penetração (24 horas)	0	0	0	0	0
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta

Tabela 11. Resultados dos ensaios na barragem da P12 (furos 1 e 2)

LOCALIZAÇÃO	**FURO**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
Crista	Profundidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm	80 – 100 cm
ANÁLISE GRANULOMÈTRICA	% maior do que a # 4	-	0,3	-	0,4	-
	% maior do que a # 10	2,3	2,1	1,3	1,2	1,3
	% maior do que a # 40	15,3	29,8	18,7	19,0	17,6
	% maior do que a # 200	38,8	50,8	53,7	59,0	53,7
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	2,0 mm	1,9 mm	1,8 mm	1,4 mm	1,9 mm
	Penetração (5 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (15 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (30 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (2 horas)	0	0	0	0	0
	Penetração (24 horas)	0	0	0	0	0
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta
LOCALIZAÇÃO	**FURO**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**
Crista	Profundidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm	80 – 100 cm
ANÁLISE GRANULOMÈTRICA	% maior do que a # 4	-	-	-	0,1	0,3
	% maior do que a # 10	2,4	2,3	2,0	2,1	3,8
	% maior do que a # 40	20,0	15,7	18,2	17,9	17,3
	% maior do que a # 200	53,4	41,9	47,1	52,6	45,2
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	1,8 mm	2,2 mm	1,9 mm	1,63 mm	2,17 mm
	Penetração (5 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (15 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (30 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (2 horas)	0	0	0	0	0
	Penetração (24 horas)	0	0	0	0	0
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta

Tabela 12. Resultados dos ensaios na barragem da P12 (furos 3 e 4)

LOCALIZAÇÃO	**FURO**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**
Talude de jusante	Profundidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm	80 – 100 cm
ANÁLISE GRANULOMÈTRICA	% maior do que a # 4	0	-	0,3	0,6	0,6
	% maior do que a # 10	2,1	1,1	5,7	7,1	11,8
	% maior do que a # 40	15,0	12,5	23,0	21,2	27,5
	% maior do que a # 200	44,3	44,0	50,1	37,3	45,6
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	1,57 mm	1,67 mm	2,47 mm	2,9 mm	2,9 mm
	Penetração (5 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (15 minutos)	0	0	0	2 mm	0
	Penetração (30 minutos)	0	0	0	2 mm	0
	Penetração (2 horas)	0	0	0	2 mm	1 mm
	Penetração (24 horas)	0	0	0	2 mm	1 mm
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta
LOCALIZAÇÃO	**FURO**	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**
Pé de jusante	Profundidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm	80 – 100 cm
ANÁLISE GRANULOMÈTRICA	% maior do que a # 4	0,4	-	-	-	-
	% maior do que a # 10	1,7	1,0	1,7	1,1	2,1
	% maior do que a # 40	17,6	17,5	18,5	17,3	17,6
	% maior do que a # 200	50,8	54,1	53,1	55,5	44,0
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	2,13 mm	1,67 mm	1,6 mm	1,8 mm	2,3 mm
	Penetração (5 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (15 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (30 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (2 horas)	0	0	0	0	0
	Penetração (24 horas)	0	0	0	0	0
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Alta	Muito Alta

Tabela 13. Resultados dos ensaios na barragem da P12 (furos 5 e 6)

LOCALIZAÇÃO	**FURO**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**
Crista	Profundidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm	80 – 100 cm
ANÁLISE GRANULOMÈTRICA	% maior do que a # 4	0,4	-	-	-	-
	% maior do que a # 10	1,8	2,9	2,2	1,7	0,5
	% maior do que a # 40	16,4	18,2	14,4	15,2	13,4
	% maior do que a # 200	48,8	44,9	51,8	45,8	49,8
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	2,07 mm	2,27 mm	1,47 mm	1,5 mm	1,26 mm
	Penetração (5 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (15 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (30 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (2 horas)	0	0	0	0	0
	Penetração (24 horas)	0	0	0	0	0
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta
LOCALIZAÇÃO	**FURO**	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**
Talude de jusante	Profundidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm	80 – 100 cm
ANÁLISE GRANULOMÈTRICA	% maior do que a # 4	0,4	-	-	0,3	0,2
	% maior do que a # 10	3,5	1,8	5,5	4,6	3,9
	% maior do que a # 40	18,0	20,3	23,1	19,4	18,3
	% maior do que a # 200	48,3	56,3	50,3	40,7	20,9
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	1,83 mm	1,8 mm	2,57 mm	2,77 mm	2,73 mm
	Penetração (5 minutos)	0	0	0	0	0
	Penetração (15 minutos)	0	0	0	1 mm	1 mm
	Penetração (30 minutos)	0	0	0	2 mm	2 mm
	Penetração (2 horas)	0	0	0	2 mm	2 mm
	Penetração (24 horas)	0	0	0	2 mm	2 mm
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta

Tabela 14. Resultados dos ensaios na barragem da P12 (furo 7)

LOCALIZAÇÃO	**FURO**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**
Crista	Profundidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm	80 – 100 cm
ANÁLISE GRANULOMÈTRICA	% maior do que a # 4	-	-	-	0,2	-
	% maior do que a # 10	1,3	1,4	1,8	3,2	1,7
	% maior do que a # 40	17,4	18,0	17,3	19,1	16,4
	% maior do que a # 200	55,5	56,2	53,4	49,5	49,9
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	1,47 mm	1,83 mm	1,77 mm	2,2 mm	1,83 mm
	Penetração (5 minutos)	0(0)	0	0	0	0
	Penetração (15 minutos)	0(0)	0	0	0	0
	Penetração (30 minutos)	0(0)	0	0	0	0
	Penetração (2 horas)	0(0)	0	0	0	0
	Penetração (24 horas)					
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta

Para confirmar a hipótese, relativa ao comportamento das argilas sódicas no ensaio das pastilhas, realizou-se este ensaio em uma amostra extraída na Palma, solo estudado anteriormente por Müller (2001) que foi caracterizado como argila sódica. A tabela 15 apresenta os resultados de ensaios com argilas sódicas.

Tabela 15. Resultado dos ensaios com argilas sódicas

ENSAIO DAS PASTILHAS	Penetração (5 minutos)	0
	Penetração (15 minutos)	5 mm
	Penetração (30 minutos)	5 mm
	Penetração (2 horas)	5 mm
	Penetração (24 horas)	5 mm

5.3.2. Ensaios de permeabilidade (*in situ)*

Os ensaios de permeabilidade foram realizados nos maciços de terra de barragens conforme as Figs. 54 e 55. Nestas figuras F1, F2 e F3 representam os furos (cada furo com 6,5 cm de diâmetro e 30,0 cm de profundidade) feitos nas barragens para a realização dos ensaios. As figuras foram elaboradas a partir dos levantamentos topográficos realizados em 2010 no entorno dos açudes, como parte deste estudo.

As leituras foram realizadas em três dias até atingir a vazão constante em cada furo. Foi adotado o proposto por Oliveira (1996) para a seleção das leituras, onde se considera a vazão estabilizada quando: não é observada uma variação progressiva nos valores lidos e a diferença entre leituras na sequência não supere 20%. A tab.16 apresenta os valores de permeabilidade determinados nas propriedades P12 e P13.

Conforme Kutilek e Nielsen (1994), os solos podem ser classificados de acordo com o valor do coeficiente de permeabilidade em:

Muito baixa permeabilidade $Ks < 10^{-7}\ m\ s^{-1}$

Baixa permeabilidade $10^{-7} < Ks < 10^{-6}\ m\ s^{-1}$

Média permeabilidade	$10^{-6} < Ks < 10^{-5}$ m s^{-1}
Alta permeabilidade	$10^{-5} < Ks < 10^{-4}$ m s^{-1}
Excessiva permeabilidade	$Ks > 10^{-4}$ m s^{-1}

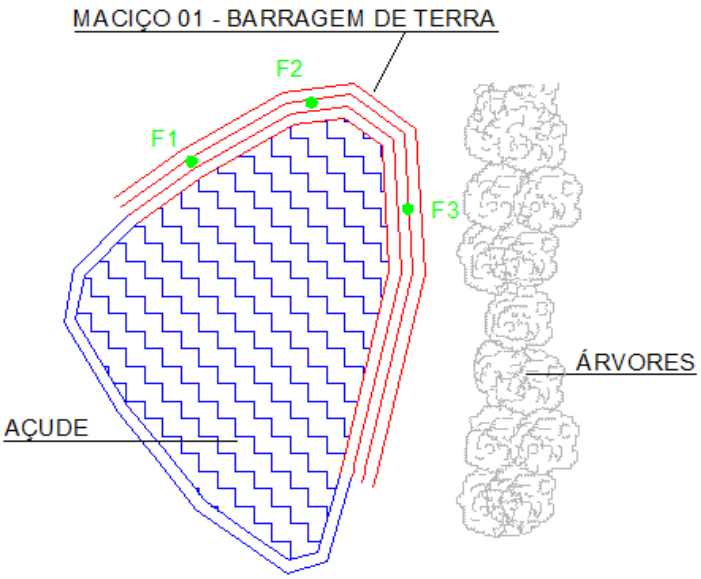


Figura 54. Localização dos furos de sondagem - Propriedade P13.

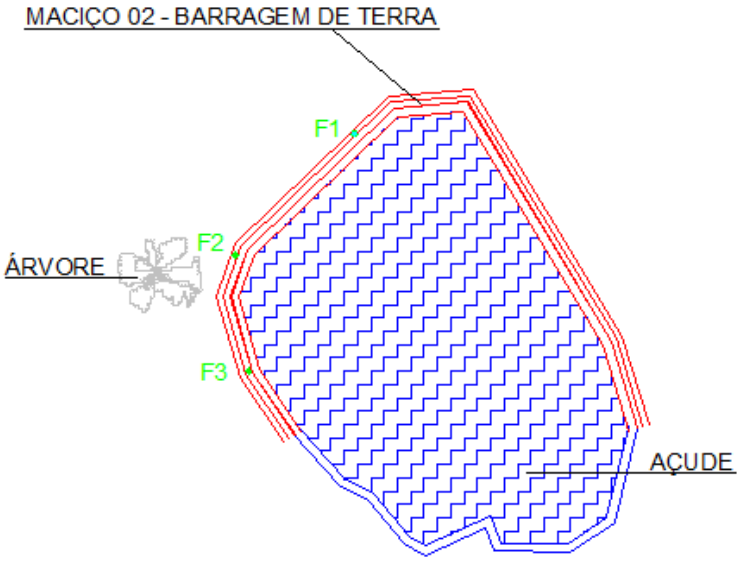


Figura 55. Localização dos furos de sondagem - Propriedade P12.

Tabela 16. Resultados dos ensaios de permeabilidade *(in situ)*, ensaios das pastilhas e resistência a seco

PROPRIEDADE 13 - BARRAGEM 1				
FURO (profundidade)		F1 (0 - 30 cm)	F2 (0 - 30 cm)	F3 (0 - 30 cm)
COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE (m/s)		1,2E-07	0,9E-07	3,5E-07
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	2,2 mm	2,0 mm	1,7 mm
	Penetração (5 minutos)	0(0)	0(0)	0(0)
	Penetração (15 minutos)	0(0)	0(0)	0(0)
	Penetração (30 minutos)	0(0)	0(0)	0(0)
	Penetração (2 horas)	0(0)	0(0)	0(0)
	Penetração (24 horas)	0(0)	0(0)	0(0)
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta
PROPRIEDADE 12 - BARRAGEM 2				
FURO (profundidade)		F1 (0 - 30 cm)	F2 (0 - 30 cm)	F3 (0 - 30 cm)
COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE (m/s)		0,7E-07	0,1E-07	0,5E-07
ENSAIO DAS PASTILHAS	Contração diametral (mm)	1,8 mm	1,6 mm	2,1 mm
	Penetração (5 minutos)	0 (0)	0(0)	0(0)
	Penetração (15 minutos)	0(0)	0(0)	0(0)
	Penetração (30 minutos)	0(0)	0(0)	0(0)
	Penetração (2 horas)	0(0)	0(0)	0(0)
	Penetração (24 horas)	0(0)	0(0)	0(0)
RESISTÊNCIA A SECO		Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta

5.3.3. Avaliação das condições de segurança

1) Só ocorreu ruptura de talude em um local da PBTA da propriedade P13 em que o aterro está apoiado em solo mole no talude a jusante (Fig. 56). O talude de montante está muito comprometido pelo processo erosivo na P13 (Fig. 57);

Figura 56. Talude a jusante da barragem na propriedade P13.

Figura 57. Talude a montante da barragem na propriedade P13.

2) Não foram detectadas surgências d'água a jusante das barragens, condição necessária para o estabelecimento de processos retroerosivos;
3) Foram detectados expressivos problemas erosivos nos taludes de montante. Este processo constitui uma fonte produtora de sedimentos que podem vir a ser responsáveis por problemas de entupimento no sistema de irrigação por gotejamento. Foi proposta uma alternativa, utilizando geotêxtil, visando interromper estes processos erosivos. A proposta foi aplicada em um trecho da barragem P13 e encontra-se descrita no APÊNDICE A;
4) Os taludes de jusante das duas barragens não apresentam problemas erosivos, apenas problemas oriundos do tráfego de animais;
5) Na barragem da propriedade P13 ocorreram problemas de extravasão de água na lavoura de morango devido a insuficiência das dimensões do vertedouro. O proprietário desta barragem, no mês de junho de 2011, aprofundou o vertedouro, preocupado com o possível extravasamento.

A Fig. 58 ilustra o vertedouro da barragem da propriedade P13.

Figura 58. Vertedouro escavado na barragem da propriedade P13.

5.3.4. Vazão de projeto e dimensionamento de vertedouros

Para a delimitação das bacias de drenagem foram realizados levantamentos com equipamentos topográficos e com o uso de um GPS GARMIN (GPSMAP 60CSx), no mês de agosto do ano de 2010. Observou-se naquela oportunidade a forma de ocupação em ambas as bacias: pastagens, eucaliptos, plantações, etc. As Figs. 59 e 60 apresentam a delimitação das bacias de drenagem das PBTAs estudadas.

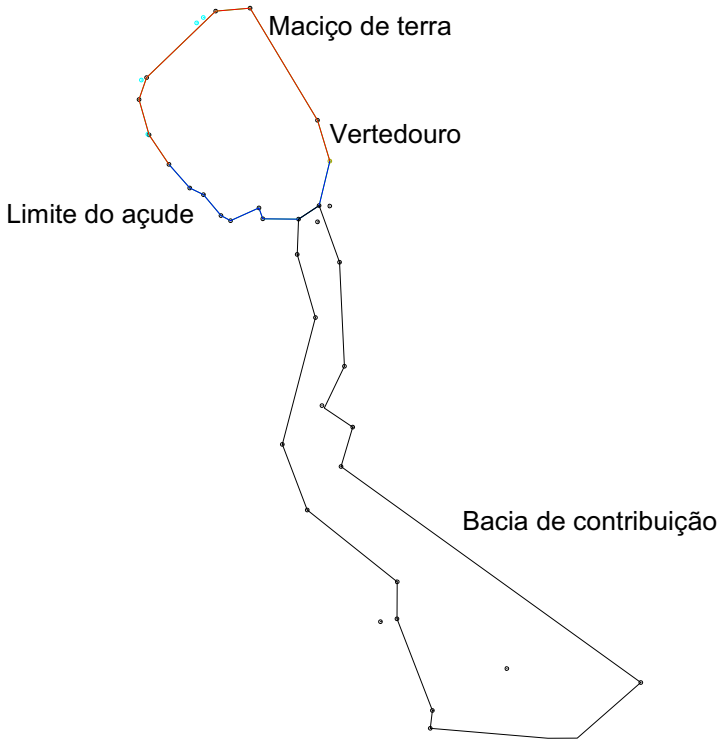


Figura 59. Limites da bacia de drenagem da PBTA na propriedade P12 (levantamento topográfico em 2010).

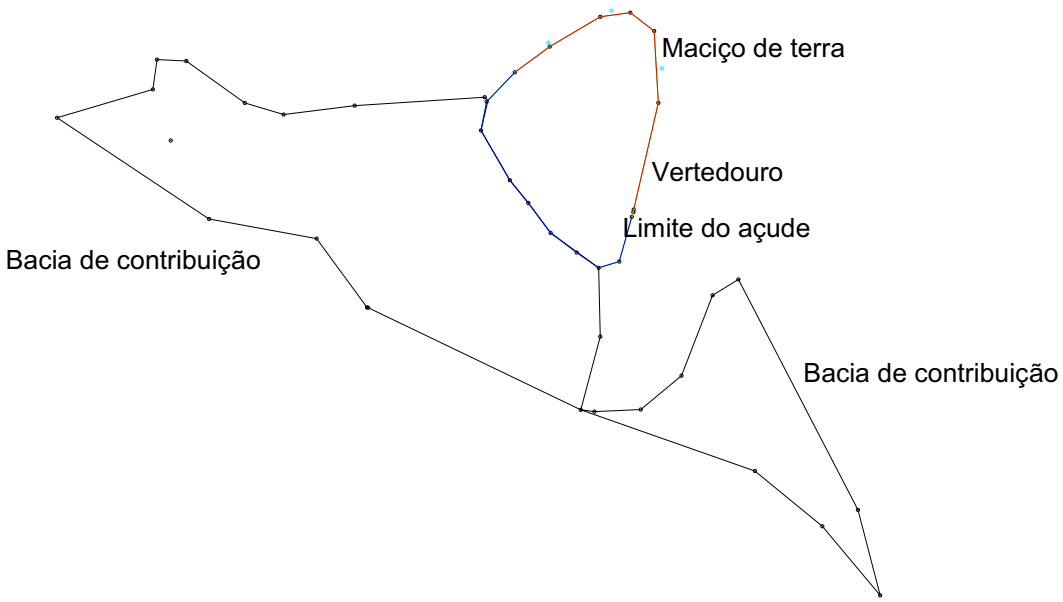


Figura 60. Limites da bacia de drenagem da PBTA na propriedade P13 (levantamento topográfico em 2010).

A partir da equação 4 foram determinadas as vazões máximas devido ao escoamento superficial para as barragens de terra das propriedades P12 e P13.

Para a barragem da P12, de acordo com o levantamento topográfico da área de drenagem, foi encontrada uma área total de 1,58 hectares e o coeficiente C (coeficiente de escoamento superficial, adimensional) de 0,51, relativo aos diferentes tipos de superfícies e declividades para um período de retorno de 25 anos (CHOW et al., 1988). O valor da intensidade máxima média de precipitação, para uma duração igual ao tempo de concentração, foi de 225 mm h^{-1}, sendo t_c calculado de 6 min. O valor da vazão máxima calculado para P12 foi de 0,50 $m^3 s^{-1}$.

Na propriedade P13, conforme o levantamento topográfico da área de drenagem para o açude da barragem de terra, foi encontrada uma área total de 1,25 hectares e um coeficiente C de 0,46, relativo aos diferentes tipos de superfícies e declividades para um período de retorno de 25 anos (CHOW et al., 1988). O valor da intensidade máxima média de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração, foi também de 225 mm h^{-1}, sendo t_c calculado de 6 min. O valor da vazão máxima encontrada para a propriedade P13 foi de 0,36 $m^3 s^{-1}$.

Para o dimensionamento dos vertedouros foi usada a equação 7. Como são pequenas barragens de terra, o valor arbitrado para a $h_{máx}$ nas duas propriedades foi de 0,20 m. A largura encontrada para a P12 , considerando o $h_{máx}$= 0,20 m, foi de L= 3,30 m. Para P13, a largura encontrada no dimensionamento foi de L= 2,35 m.

Na propriedade P12 não se tem uma definição bem clara com relação ao vertedouro (Fig. 61), pois existe uma estrada no local de saída da água para desague, não havendo dimensões relativas à altura e largura do mesmo. Entretanto, foi constatada a existência, em nível inferior ao da estrada, de um tubo de 75 mm que auxilia na extravasão da água deste açude, conforme mostra a Fig. 62. Com relação a P13, o vertedouro existente (Fig. 63) possui as seguintes dimensões: altura de 0,20 m e largura variando de 0,60 m a 1,20 m. Para ambas as barragens os vertedouros existentes no local são incompatíveis com os dimensionados.

Figura 61. Vertedouro da barragem na propriedade P12.

(a) (b)

Figura 62. Posição da tubulação usada como extravasor na barragem P12: a) tubulação (diâmetro de 75 mm) próximo ao açude; e b) tubulação com saída de água para o campo.

Figura 63. Vertedouro da barragem P13.

Considerando todas as avaliações realizadas *in situ* pode-se verificar que a geometria dos maciços de terra está dentro da expectativa para PBTAs.

Quanto aos resultados dos ensaios laboratoriais realizados, estes indicaram que a maior parte dos materiais constituintes do maciço e da fundação das PBTAs estudadas, apresentaram resistência a seco muito altas e penetrações menores ou iguais a 2 mm, ou seja, indicando materiais resistentes à erosão e pouco permeáveis.

Os resultados dos ensaios de permeabilidade efetuados no campo, evidenciaram a possibilidade de uma relação efetiva, como a proposta, entre a permeabilidade e os resultados obtidos no ensaio das pastilhas e resistência a seco, mesmo em materiais compactados apenas pelo tráfego dos *scrapers*.

Das hipóteses estabelecidas para avaliação das PBTAs apenas uma não foi confirmada: os maciços de terra não apresentam surgências d'água a jusante, em que pese o fato de que estas barragens não disponham de sistemas de drenagem. Não foi encontrada uma explicação na literatura técnica e científica consultada. Aventa-se uma possibilidade para este comportamento que diverge da expectativa da teoria de barragens vigente: o volume d'água que percola seja inferior a evapotranspiração. Desta forma, foi estimado o volume de água percolado no maciço de uma barragem de terra (APÊNDICE B). Este volume é inferior a evapotranspiração regional que é próxima a 6 mm dia^{-1}, nos meses de maior demanda evapotranspirométrica.

Na barragem da propriedade P13 a erosão no talude de montante é muito significativa. A solução proposta com o uso de geotêxteis vem apresentando excelente desempenho (oito meses de observação).

As dimensões do vertedouro na propriedade P13 são insuficientes para escoar uma vazão máxima com um período de retorno de 25 anos. Durante o desenvolvimento deste trabalho, no mês de junho de 2011, o vertedouro da P13 apresentou problemas devido as suas dimensões, obrigando o proprietário a fazer uma intervenção com o intuito que a água não transbordasse. Não foram detectados problemas de extravasão de água na barragem da propriedade P12 durante o estudo, provavelmente pela existência da tubulação auxiliar na barragem, além do vertedouro.

5.4. Conclusões

A partir dos resultados obtidos neste trabalho com pequenas barragens de terra é possível concluir que:

- há possibilidade de qualificar tecnicamente a construção de PBTAs com medidas simples e de baixo custo;

- as propriedades fundamentais a serem consideradas para os materiais da fundação e do aterro de PBTAs são a resistência à erosão e a permeabildade;

- em quatro dos seis furos analisados no ensaio de permeabilidade foram encontrados solos de muito baixa permeabilidade e em dois furos o solo apresentou baixa permeabilidade, sendo que estes resultados estão de acordo com os ensaios expeditos (ensaios das pastilhas e resistência a seco) realizados em amostras do local.

- os ensaios laboratoriais utilizados foram eficientes para avaliar a adequação dos materiais da fundação e do aterro de PBTAs;

- o processo erosivo no talude de montante constitui um problema muito importante em PBTAs, podendo os sedimentos produzidos prejudicarem, a qualidade da água para a irrigação, principalmente para métodos de irrigação localizada;

- as PBTAs não precisam dispor de sistemas de drenagem internos, não ocorrem problemas de erosão interna ou retroerosão desde que os materiais sejam pouco permeáveis e não contenham argilas sódicas;

- as dimensões dos vertedouros nas duas barragens avaliadas foram consideradas insuficientes e poderão constituir a principal causa de ruptura de PBTAs.

5.5.Sugestões de futuros estudos

- Executar um conjunto mais expressivo de ensaios de permeabilidade permitindo maior confiança na relação entre os resultados de ensaios das pastilhas e resistência a seco com o valor da permeabilidade.

- Acompanhar o desempenho da proteção de talude de montante usando geotêxteis. A possibilidade de proteger o talude com o uso de geotêxteis tem custo compatível com as PBTAs e pode constituir uma boa opção, desde que apresente bons resultados por um período de tempo significativo;

- Determinar a evapotranspiração de superfícies inclinadas – importante na questão da surgência de água no talude de jusante.

-Avaliar a redução dos sedimentos na água de irrigação com a proteção do talude de montante com vegetação.

-Estudar vegetações adequadas para revestir os vertedouros.

6. CAPÍTULO 3 - ANÁLISE DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA USADA PARA IRRIGAÇÃO DO MORANGUEIRO EM TURUÇU-RS

6.1. Introdução

As águas apresentam características de qualidade muito variadas, que lhes são conferidas pelos ambientes de origem, por onde circulam, percolam ou onde são armazenadas (REBOUÇAS, 2006). Para que se tenha água com características adequadas à irrigação e consequentemente um produto final próprio para o uso ao consumo é extremamente importante um monitoramento contínuo dos parâmetros de qualidade da água. De acordo com Braga et al. (2005), a qualidade de água utilizada para irrigação depende do tipo de cultura a ser irrigada. Para as culturas que são consumidas “in natura”, a água deve ser isenta de organismos patogênicos que poderão atingir o consumidor deste produto.

De acordo com Ayers e Westcot (1999) o conceito de qualidade de água refere-se às suas características, que podem afetar sua adaptabilidade para uso específico, ou seja, a relação entre a qualidade da água e as necessidades do usuário. Na avaliação da qualidade da água para irrigação leva-se em consideração, principalmente, as características químicas e físicas e poucas são as vezes em que outros fatores são considerados importantes.

De acordo com estudos da qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano com 9.600 ha em Guaíra-SP, realizados por Toledo e Nicolla (2002), diferentes usos da terra ao longo do eixo hídrico provocam alterações nas relações entre parâmetros de qualidade de água. No estudo em um trecho a montante, onde o uso agrícola predomina, a influência das variáveis turbidez e sólidos suspensos foi mais significativa devido à ocorrência de processos erosivos, mascarando as relações entre fósforo total, oxigênio dissolvido e nitrato.

Em estudos ambientais com muitas amostras e variáveis, sejam elas físicas, químicas, biológicas e temporais, que devem ser levadas em consideração, uma das formas de avaliar integradamente um complexo de dados é a estatística multivariada, onde as variáveis podem ser analisadas em conjunto (BERNARDI et al., 2009).

Para se conhecer a real qualidade da água de um corpo hídrico é necessária a realização de um monitoramento que, em geral, envolvem muitas variáveis e gera um grande número de dados, tornando-se difícil interpretação. Para interpretar este grande conjunto de dados a técnica de estatística multivariada da análise de componentes principais (ACP) vem sendo largamente utilizada (ANDRADE et al., 2009).

Para Klefens (2009), a análise de componentes principais é usada para reduzir a dimensionalidade do conjunto de variáveis, ou seja, para descrever os indivíduos ou objetos em termos de um número menor de variáveis com uma perda de informação tanto menor quanto possível, mantendo o máximo de informações da variável presente no conjunto de dados originais.

Silva et al. (2008) verificaram os impactos da precipitação na qualidade da água do Rio Purus, localizado no Estado do Amazonas, por meio de dados de precipitação e informações de temperatura da água, condutividade elétrica, pH, turbidez, oxigênio dissolvido e sólidos totais, sendo monitoradas em quatro diferentes pontos ao longo do rio.

Considerando a importância da qualidade de água usada para irrigação na produção de morango, bem como o monitoramento da água de captação, foi analisado o conjunto de dados referentes aos parâmetros físicos, químicos e microbiológico, tomando-se como base a análise de componentes principais e a análise das relações entre cada um dos parâmetros com a precipitação acumulada, utilizando a correlação linear. O presente estudo foi desenvolvido tendo como objetivo verificar a existência de correlação entre os parâmetros de qualidade de água entre si, com os diferentes tipos de mananciais usados para irrigação do morangueiro, com a classificação do solo, com as micro-regiões em que se localizam e com a precipitação antecedente à data de coleta de água em 14 fontes de captação de água em propriedades rurais localizadas em Turuçu-RS.

6.2. Material e Métodos

Neste trabalho foram analisados os resultados dos parâmetros físicos, químicos e microbiológico relacionados à qualidade da água para irrigação de morangueiro proveniente de fontes de captação, obtidos por Estrela (2008) em coletas mensais, referentes ao projeto[3] desenvolvido nos anos de 2007 e 2008, que contou com a participação de produtores rurais pertencentes à Associação dos Produtores de Morango de Turuçu-RS. O conjunto de dados é decorrente das análises dos seguintes parâmetros: condutividade elétrica (CE), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), alcalinidade, oxigênio dissolvido (OD), sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, sólidos totais e turbidez, bem como os dados de precipitação diária coletadas em cada uma das propriedades envolvidas. Para análise de correlações dos parâmetros e das fontes de captação, foi aplicada a estatística multivariada utilizando a análise de componentes principais. Na sequência deste estudo foi analisada as relações entre cada um dos parâmetros com a precipitação acumulada, para os 30 diferentes períodos de precipitação antecedente ao dia da coleta de água, utilizando a correlação linear.

6.2.1. Localização

O monitoramento dos dados de qualidade de água usada para irrigação do morangueiro foi realizado em 14 propriedades rurais do município de Turuçu, que está situado no sudeste da região sul do Rio Grande do Sul. Conforme Islabão (2009) nestas propriedades rurais predomina o sistema de produção agrícola familiar, destacando-se como principais atividades a pecuária leiteira, a produção de frutíferas, de fumo e de pimenta vermelha. Os açudes estudados neste trabalho foram construídos com o objetivo de armazenar água para irrigação nas propriedades e são utilizados principalmente na cultura de morango, com uso preponderante de irrigação localizada por gotejamento.

[3] Projeto ”Variabilidade espacial e temporal da qualidade da água de irrigação e seu impacto ambiental no sistema familiar de produção de morango do pólo produtivo do município de Turuçu-RS”.

As Figs. 64, 65 e 66 ilustram as fontes de captação de água para irrigação de cada uma das propriedades rurais.

P1 (a)

P2 (b)

P3 (c)

P4 (d)

P5 (e)

P6 (f)

Figura 64. Fontes de captação de água para irrigação nas propriedades P1 (a), P2 (b), P3 (c), P4 (d), P5(e) e P6 (f).

P7 (g)

P8 (h)

P9 (i)

P10 (j)

P11 (k)

P12 (l)

Figura 65. Fontes de captação de água para irrigação nas propriedades P7 (g), P8 (h), P9 (i), P10(j), P11 (k) e P12 (l).

P13 (m)

P15 (n)

Figura 66. Fontes de captação de água para irrigação nas propriedades P13 (m) e P15 (n).

6.2.2. Coleta de dados

Nas fontes de captação de água para irrigação foram coletadas amostras de água para análise dos parâmetros físicos, químicos e microbiológico nas 14 propriedades, sendo que o início das coletas foi no mês de agosto de 2007 e o término em novembro de 2008. Em cada propriedade foi instalado um pluviômetro para o monitoramento diário da chuva pelos agricultores correspondendo ao mesmo período de coleta das amostras para análise da qualidade da água de irrigação do morangueiro.

De acordo com Estrela (2008), durante a execução do projeto foram caracterizadas as fontes de captação de água usada para irrigação e classificadas de acordo com a origem de abastecimento ou recarga dos açudes relacionadas às condições naturais do local, sendo elaborada a seguinte proposta para caracterização das fontes de captação de água: Tipo 01- reservatórios artificiais originados por nascentes e abastecidos por água subterrânea; Tipo 02- reservatórios artificiais originados por banhados, abastecidos por nascentes ou cabeceiras de cursos d'água; Tipo 03- reservatórios artificiais construídos a partir de barramentos, utilizando a declividade natural do terreno, abastecidos por escoamento superficial; Tipo 04- curso natural de água. Os tipos de fontes nas 14 propriedades rurais foram classificadas da seguinte maneira: Tipo 01- seis propriedades (40%); Tipo 02- cinco propriedades (33%); Tipo 03- três propriedades (20%); e Tipo 04- uma propriedade (7%).

Na tab. 17 é apresentada a relação das propriedades rurais e a classificação de suas respectivas fontes de captação de água para irrigação quanto ao tipo, a localização das propriedades nas micro-regiões e a classificação do tipo de solo em cada propriedade.

Tabela 17. Classificação das fontes de captação de água quanto ao tipo em cada propriedade, micro-regiões onde elas estão localizadas e classificação dos tipos de solo em cada propriedade

Propriedades	Tipos de fontes	Micro-regiões	Tipos de solo
P1	TIPO 1	Picada Flor	Argissolo Acinzentado
P2	TIPO 1	São Domingos	Argissolo Acinzentado
P3	TIPO 2	São Domingos	Não Classificado
P4	TIPO 1	São Domingos	Argissolo Acinzentado
P5	TIPO 4	São Domingos	Argissolo Vermelho
P6	TIPO 1	Centenário	Gleissolo
P7	TIPO 2	Centenário	Argissolo Vermelho-Amarelo
P8	TIPO 2	Centenário	Argissolo Vermelho-Amarelo
P9	TIPO 3	Centenário	Argissolo Vermelho-Amarelo
P10	TIPO 2	Centenário	Argissolo Vermelho-Amarelo
P11	TIPO 1	São Domingos	Não Classificado
P12	TIPO 3	Picada Flor	Argissolo Acinzentado
P13	TIPO 3	Picada Flor	Cambissolo
P15	TIPO 1	Picada Flor	Argissolo Acinzentado

Fonte: ISLABÃO, 2009.

6.2.3. Análise de componentes principais (ACP)

No desenvolvimento do presente trabalho, inicialmente foram considerados os 18 parâmetros monitorados por Estrela (2008) nas fontes de captação de água para irrigação. Posteriormente, observou-se que utilizando os 18 parâmetros monitorados, de forma conjunta, não foi encontrada uma correlação significativa, em decorrência de uma grande variabilidade de fatores inerentes a cada propriedade rural envolvida na pesquisa. Após esta constatação, optou-se por selecionar um

conjunto de parâmetros que poderiam apresentar correlações mais expressivas, a partir da aplicação da análise de componentes principais. Esta seleção teve por base os parâmetros que se mostraram mais representativos em outros estudos relacionados com qualidade da água (LIMA, 2001; TOLEDO; NICOLELLA, 2002; KRUPEK, BRANCO e PERES, 2008; BERNARDI et al., 2009). Observando este critério foram selecionados os seguintes parâmetros físicos, químicos e microbiológico para serem avaliados: alcalinidade, condutividade elétrica (CE), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, sólidos totais e turbidez. Os métodos de análise laboratoriais destes parâmetros foram descritos em Estrela (2008).

Antecedendo a análise dos componentes principais foi verificado o efeito do tempo nas variáveis estudadas, utilizando-se o procedimento *proc mixed*. A análise de medidas repetidas, em nível de 1% de probabilidade aplicada as variáveis estudadas, mostraram diferenças significativas para a maioria das variáveis, com excessão da turbidez e dos sólidos suspensos.

Para identificar outras variáveis que explicassem a maior parte da variabilidade, utilizou-se a análise de componentes principais (ACP) com base na matriz de correlação existente entre os componentes e as variáveis. Todas as análises foram realizadas utilizando o programa estatístico SAS (*Statistical Analysis System*, 1985).

6.2.4. Correlação dos parâmetros de qualidade de água com a precipitação

Conforme dito anteriormente, em cada uma das propriedades foram instalados pluviômetros do tipo “Ville Paris” com uma área de captação de 350 cm² (Fig. 67). Os produtores rurais realizaram o monitoramento diário da precipitação durante os anos de 2007 e 2008, sendo estes dados anotados em planilhas previamente fornecidas a cada um deles. A partir dos dados de precipitação elaborou-se uma planilha com os valores de precipitação acumulada diariamente até 30 dias anteriores às datas das coletas das amostras de água para análise. Com estes dados foram realizados os estudos da correlação linear de cada parâmetro estudado com a precipitação acumulada, para períodos variando de 1 até 30 dias antecedentes à data de coleta da amostra de água. Santos (2007) propõe a

classificação da correlação linear, conforme tab. 18, que foi usada como parâmetro na análise dos dados de correlação linear deste estudo.

Talela 18. Classificação da correlação linear

Coeficientes de correlação	Correlação
$r = 1$	Perfeita positiva
$0,80 \leq r < 1$	Forte positiva
$0,50 \leq r < 0,80$	Moderada positiva
$0,10 \leq r < 0,50$	Fraca positiva
$0 < r < 0,10$	Ínfima positiva
0	Nula
$-0,10 < r < 0$	Ínfima negativa
$-0,50 < r \leq -0,10$	Fraca negativa
$-0,80 < r \leq -0,50$	Moderada negativa
$-1 < r \leq -0,80$	Forte negativa
$r = -1$	Perfeita negativa

A Fig. 67 ilustra um pluviômetro do tipo “Ville Paris” instalado em uma das 14 propriedades rurais.

Figura 67. Pluviômetro instalado em uma propriedade rural em Turuçu-RS.

6.3. Resultados e Discussão

6.3.1. Análise de componentes principais

Na tab.19 é apresentada a matriz de correlação das oito variáveis selecionadas e resultantes do conjunto de dados da análise de água nas 14 fontes de captação de água.

Tabela 19. Matriz de correlação entre oito variáveis de qualidade da água de 14 fontes de captação usadas para irrigação em Turuçu-RS

	alcali	conduti	OD	DBO	turbi	soli_tot	soli_dis	soli_sus
alcali	1							
conduti	**0,6855**	1						
OD	-0,0047	-0,0102	1					
DBO	0,2878	0,3793	0,0111	1				
turbi	-0,1699	-0,2058	0,1212	0,0092	1			
soli_tot	-0,1151	-0,1146	0,0462	0,0460	**0,5333**	1		
soli_dis	-0,1580	-0,1505	0,0520	-0,0473	0,4027	**0,8957**	1	
soli_sus	-0,2305	-0,2601	0,1207	-0,0371	**0,6026**	**0,7786**	**0,6849**	1

Observações: alcali (alcalinidade); conduti (condutividade elétrica); OD (oxigênio dissolvido); DBO (demanda bioquímica de oxigênio); turbi (turbidez); soli_tot (sólidos totais); soli_dis (sólidos dissolvidos) e soli_sus (sólidos suspensos).

Na matriz de correlação sempre que as linhas e colunas se cruzam, obtém-se o coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis. Pode-se observar uma correlação mais elevada entre as variáveis de sólidos dissolvidos e sólidos totais com 0,8957, sólidos suspensos e sólidos totais com 0,7786, condutividade elétrica e alcalinidade com 0,6855 e sólidos totais e turbidez com 0,6026, as demais correlações entre as variáveis com valores menores.

Na tab. 20 é possível observar os resultados de autovalores dos componentes principais, a diferença entre eles, a proporção e a proporção

culumativa. O autovalor representa a quantidade de variância que é explicada por um determinado componente.

Tabela 20. Autovalores da matriz de correlação

Componente Principal	Autovalores	Diferença	Proporção	Cumulativo
1	3,1660383	1,37873065	0,3958	0,3958
2	1,7873077	0,78217996	0,2234	0,6192
3	1,0051277	0,23103385	0,1256	0,7448
4	0,7740938	0,15506592	0,0968	0,8416
5	0,6190279	0,31223538	0,0774	0,9189
6	0,3067925	0,04398469	0,0383	0,9573
7	0,2628079	0,18400365	0,0329	0,9901
8	0,0788042	-	0,0099	1

Na tab.12 observa-se que o somatório dos valores cumulativos do primeiro e do segundo componente principal resulta em 0,6192 e com o terceiro componente principal um valor cumulativo de 0,7448, significando que 74,48% da variação total do conjunto de dados foi explicada pelos três primeiros autovalores. O primeiro componente principal resultou da combinação linear das oito variáveis estudadas e explicou 39,58% da variância total, enquanto que o segundo componente explicou 22,34%. Pode-se observar que o número de componentes extraídos é igual ao número de variáveis analisadas. Para determinar o número significativo de componentes principais que serão analisados, neste caso, será usado o critério indicado por Kaiser (1960), que nessa abordagem seleciona e interpreta apenas os componentes principais com autovalores superiores a 1,00.

Na tab.21 são mostrados os valores dos autovetores dos componentes principais 1, 2 e 3 referentes as oito variáveis estudadas.

Tabela 21. Valores dos autovetores das oito variáveis para cada um dos três componentes principais selecionados

Variáveis	Prin1	Prin2	Prin3
alcali	-0,41459	0,74145	-0,01093
conduti	-0,43506	0,7765	-0,02434
OD	0,12986	0,07316	0,97129
DBO	-0,14242	0,64529	0,02951
turbi	0,70123	0,12570	0,13812
soli_tot	0,88423	0,33633	-0,13434
soli_dis	0,84270	0,24719	-0,15111
soli_sus	0,88543	0,15108	0,01381

A Fig. 68 mostra a distribuição das oito variáveis físico-químicas e microbiológica com relação aos componentes principais 1 e 2.

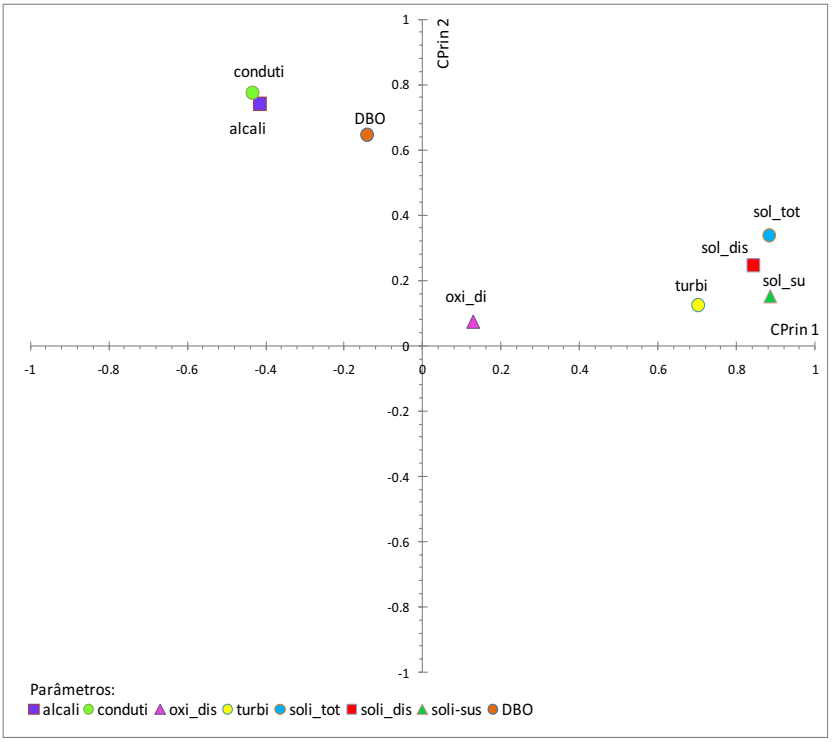


Figura 68. Representação de oito variáveis relacionados aos componentes principais 1 e 2.

Analisando a Fig. 68 observa-se que existe uma proximidade das variáveis físicas estudadas: sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos e turbidez

apresentando os valores elevados no componente principal 1 e de forma positiva. No 2° quadrante observa-se uma proximidade das váriáveis químicas e microbiológica (alcalinidade, condutividade elétrica e DBO), com valores elevados no componete principal 2. A variável oxigênio dissolvido apresenta baixos valores positivos com relação aos dois componentes, estando posicionado no primeiro quadrante.

Na Fig. 69 é apresentada a distribuição das 14 propriedades onde estão localizadas as fontes estudadas com relação ao primeiro componente principal e ao segundo componente principal.

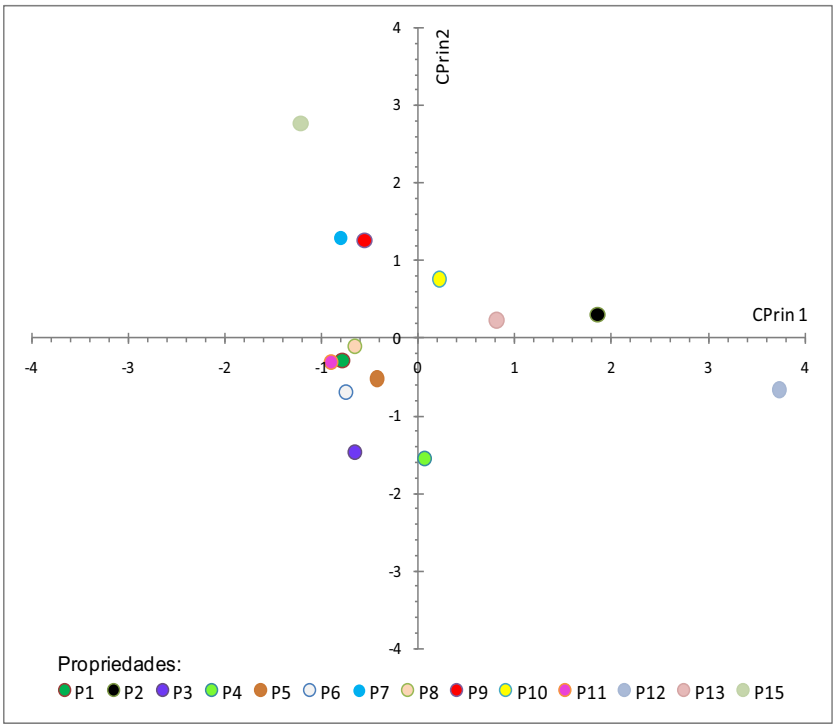


Figura 69. Representação das 14 propriedades pelos valores médios dos componentes principais 1 e 2.

Analisando a Fig. 69 pode-se observar que as propriedades P2, P4, P10, P12 e P13 apresentam valores positivos relacionados ao componente principal 1, sendo que, a propriedade P12 apresenta valor elevado em relação às outras propriedades para esta componente e negativo para o segundo componente. As propriedades P2, P7, P9, P10, P13 e P15 apresentam valores positivos relacionados ao segundo componente principal, destacando-se a propriedade P15 que apresenta

valores mais altos com relação as demais para este componente. As demais propriedades apresentam valores negativos para o segundo componente principal.

Em determinadas propriedades observa-se que os valores relacionados aos parâmetros físicos foram bem elevados comparados com as demais, provavelmente em decorrência de atividades no entorno do reservatório, e/ou pelo manejo inadequado do solo. Estes aspectos relacionados a cada propriedade como ações antrópicas (tipo de uso do solo, manejo e criação de animais) próximos às fontes de captação podem ter influenciado significativamente nos resultados dos parâmetros analisados.

De acordo com Silva (2008), em ambientes onde a ação antrópica é marcante, a qualidade da água é afetada não só por fatores naturais, mas também por impactos das atividades humanas.

Na Fig. 70, é apresentada a posição das 14 propriedades onde estão localizadas as fontes estudadas com relação ao primeiro componente principal e ao terceiro componente principal.

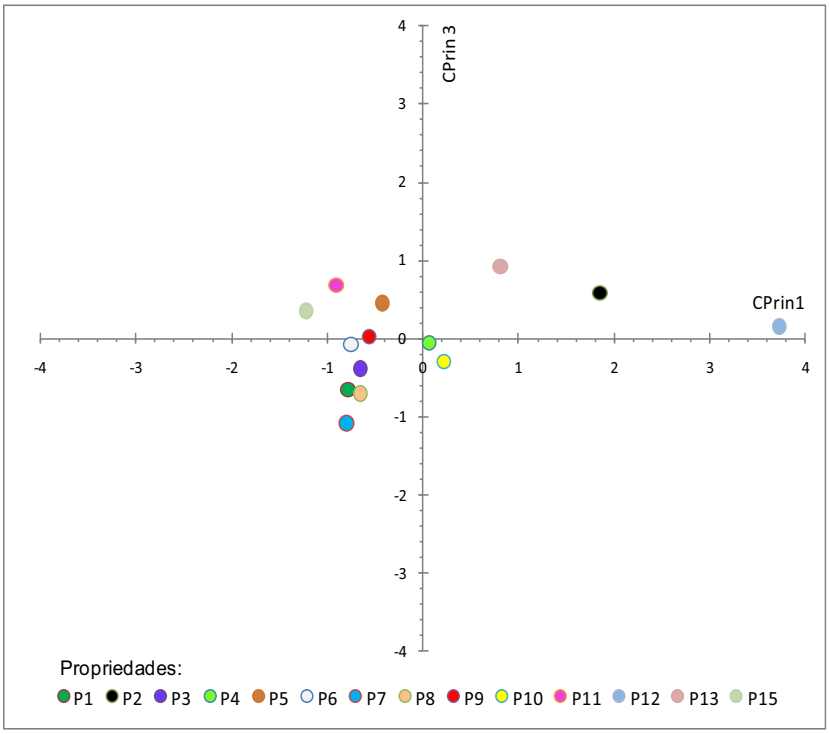


Figura 70. Representação das 14 propriedades pelos valores médios dos componentes principais 1 e 3.

Na Fig. 70 pode-se observar que as propriedades P2, P4, P10, P12 e P13 apresentaram valores positivos relacionados ao componente principal 1, com

destaque para a propriedade P12, sendo os demais valores negativos neste componente, como já explicado anteriormente.

O terceiro componente agrupa na parte positiva do eixo as propriedades P2, P5, P9, P11, P12, P13 e P15 em que o oxigênio dissolvido é um atributo importante na qualidade da água das fontes. Na parte negativa do eixo estão as propriedades com baixos valores de OD com destaque para a propriedade P7 que apresenta um valor muito distante do valor recomendado para qualidade da água (ESTRELA, 2008).

Mediante os resultados obtidos, percebe-se que os parâmetros que tiveram uma correlação mais significativa entre si são os relacionados com a poluição, ou seja, com os resíduos existentes em águas superficiais, são eles os sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, sólidos totais, turbidez, que estão representados mais significativamente no componente principal 1, sendo que estas variáveis possuem os valores mais elevados nas seguintes propriedades: P2, P10, P12 e P13.

As propriedades P15, P7 e P9 locadas no 2°quadrante e positivas para o componente principal 2, possuem os maiores valores de alcalinidade e condutividade elétrica. A alcalinidade pode estar relacionada com a formação geológica do solo ou pela ação antrópica, sendo que ocorrendo a falta ou excesso de precipitação em alguns locais, os sais na água podem aumentar e consequentemente é possível que aumente também a condutividade elétrica.

No componente principal 3, relativo ao oxigênio dissolvido, as propriedades P1, P3, P4, P6, P7, P8 e P10 apresentaram resultados das análises com a maioria dos valores de oxigênio dissolvidos inferiores ao exigido na legislação.

6.3.2. Correlações entre oito parâmetros de qualidade de água e a precipitação

6.3.2.1. Alcalinidade

Na Fig. 71 observa-se a representação gráfica da relação entre os valores de alcalinidade e precipitação acumulada para oito dias antecedentes a cada coleta de água no açude da propriedade P4.

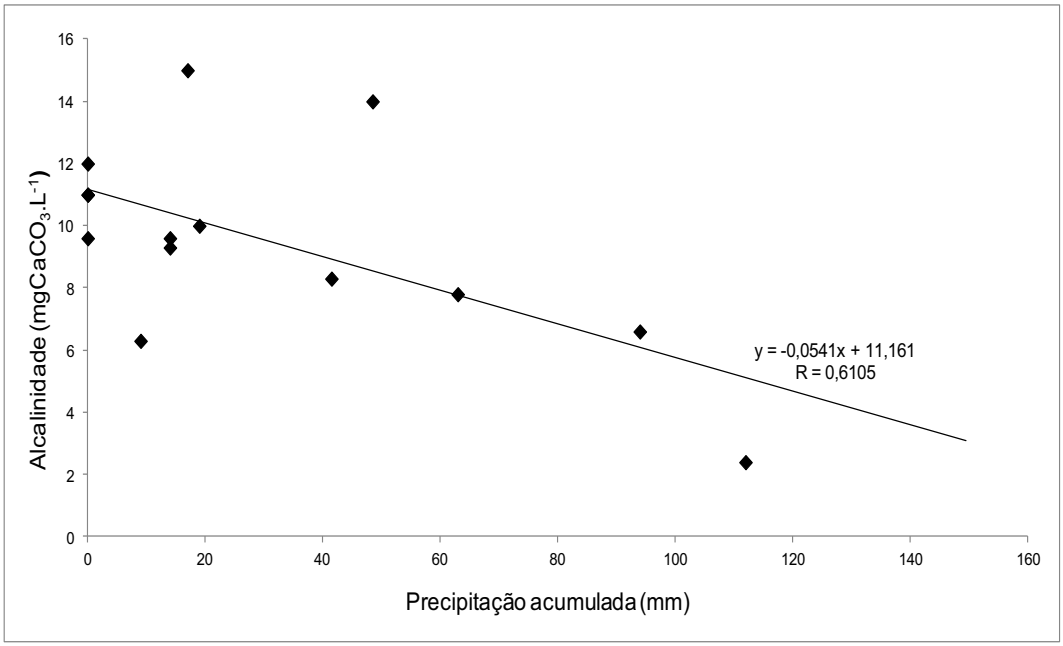


Figura 71. Correlação entre a alcalinidade na propriedade P4 com a precipitação acumulada em oito dias.

Na tab.22 são apresentadas as correlações mais elevadas entre a alcalinidade e as precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais.

Tabela 22. Correlações entre a alcalinidade e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais

Propriedades	Equações	Correlações	Dias de precipitação acumulada
P1	y = -0,0404x + 25,959	R = -0,2345	15
P2	y = -0,0381x + 20,90	R = -0,4401	13
P3	y = -0,0781x + 13,095	R = -0,3932	4
P4	y = -0,0541x + 11,161	R = -0,6105	8
P5	y = -0,0896x + 22,457	R = -0,5504	9
P6	y = 0,7775x + 14,488	R = 0,7363	3
P7	y = -0,1121x + 27,752	R = -0,5784	16
P8	y = 0,8931x + 18,37	R = 0,7484	3
P9	y = 0,0977x + 17,612	R = 0,4207	29
P10	y = 0,2163x + 20,284	R = 0,3481	5
P11	y = -0,0541x + 26,713	R = -0,5666	15
P12	y = 0,0156x + 7,1481	R = 0,3358	12
P13	y = 0,0173x + 19,462	R = 0,3398	12
P15	y = -0,3168x + 51,131	R = -0,4445	7

Os valores da alcalinidade apresentaram uma relação positiva com as precipitações acumuladas em 42,86% das fontes de captação de água, sendo as correlações classificadas como moderadas positivas ($0,50 \leq R < 0,80$) encontradas nas propriedades P8 (R= 0,7484) e P6 (R= 0,7363). Quanto à localização das duas propriedades com maior correlação (P8 e P6), observa-se que estão localizadas na mesma micro-região (Centenário).

Para as fontes que apresentaram uma relação negativa entre a alcalinidade e a precipitação acumulada, as correlações foram classificadas como moderadas negativas ($-0,80 < R \leq -0,50$) nas propriedades P4 (R= -0,6105), P7(R= -0,5784), P11(R= -0,5666) e P5 (R= -0,5504). Com relação a localização, três propriedades (P4, P11 e P5) estão localizadas na mesma micro-região (São Domingos).

Em sete propriedades (P3, P4, P5, P6, P8, P10 e P15), as correlações mais elevadas (em módulo), para cada propriedade, foram encontradas para períodos de precipitação acumulada variando entre três a nove dias. Entretanto, percebe-se que existe uma grande variabilidade em relação a este aspecto.

Não foi possível estabelecer uma relação entre o tipo de fonte de captação e o número de dias de precipitação acumulada para os quais foram encontrados os valores de correlação mais elevados em cada propriedade. O mesmo ocorreu em relação ao tipo de solo.

Quanto à existência de uma relação crescente ou decrescente entre a alcalinidade e a precipitação antecedente acumulada, também não foi possível identificar uma correlação com a classificação do solo ou com o tipo de fonte de captação.

6.3.2.2. Condutividade elétrica (CE)

Na Fig. 72 é apresentado o gráfico onde pode ser observada a relação entre os valores de condutividade elétrica e da precipitação acumulada para sete dias antecedentes a cada coleta de água no açude da propriedade P3.

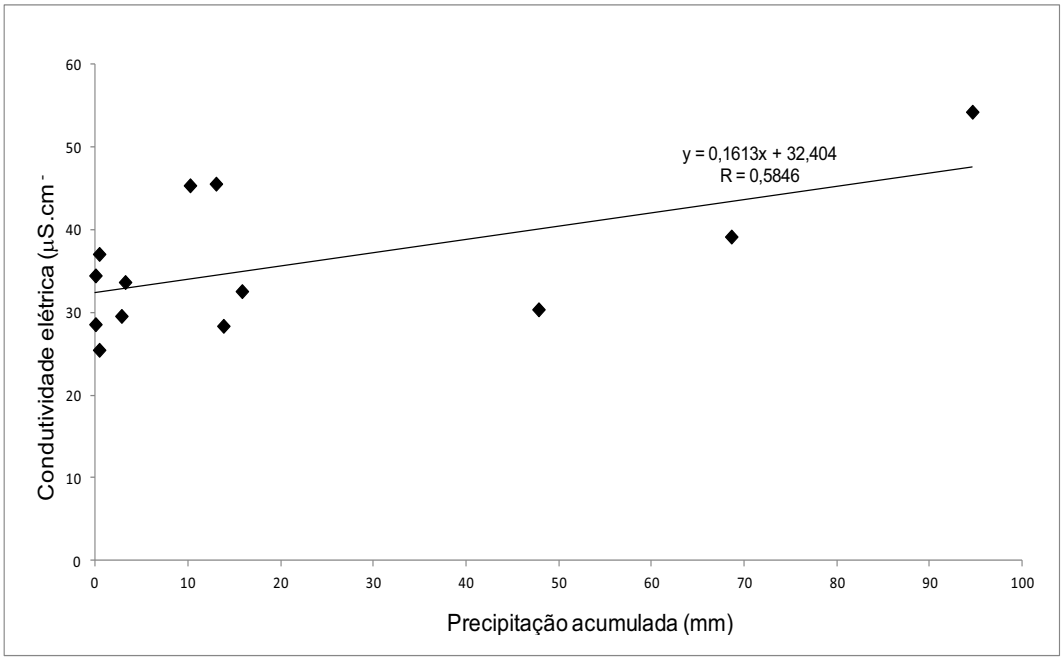


Figura 72. Correlação entre a condutividade elétrica na propriedade P3 com a precipitação acumulada em sete dias.

Na tab.23 observa-se as correlações mais elevadas entre a condutividade elétrica e as precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais.

Tabela 23. Correlações entre a condutividade elétrica e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais

Propriedades	Equações	Correlações	Dias de precipitação acumulada
P1	y=-0,3305x = 59,887	R= -0,4947	2
P2	y = -0,1307x + 54,231	R = -0,4492	9
P3	y = 0,1613x + 32,404	R = 0,5846	7
P4	y = 0,4363x + 26,176	R = 0,6749	7
P5	y = 0,1922x + 53,175	R = 0,5091	7
P6	y = -0,352x + 57,983	R = -0,2298	8
P7	y = -0,4614x + 86,42	R = -0,3432	10
P8	y = -0,0754x + 63,358	R = -0,3929	19
P9	y = -0,2386x + 74,431	R = -0,4382	6
P10	y = -0,0896x + 74,513	R = -0,5767	30
P11	y = 0,0935x + 49,837	R = 0,3748	22
P12	y = 0,0369x + 26,242	R = 0,2934	15
P13	y = 1,0729x + 49,953	R = 0,5187	2
P15	y = 0,0576x + 101,06	R = 0,1536	16

Os valores da condutividade elétrica apresentaram uma relação positiva com as precipitações acumuladas em 50% das fontes de captação de água, sendo as correlações mais altas classificadas como moderadas positivas ($0,50 \leq R < 0,80$) encontradas nas propriedades P4 (R= 0,6749), P3 (R= 0,5846), P13 (R= 0,5187) e P5 (R= 0,5091). Quanto à localização das propriedades, percebe-se que três das propriedades com maior correlação (P4, P3 e P5) estão localizadas na mesma micro-região (São Domingos).

Para as fontes que apresentaram uma relação negativa entre a condutividade elétrica e a precipitação acumulada, a correlação mais alta foi encontrada na propriedade P10 (R= -0,5767) que foi classificada como moderada negativa ($-0,80 < R \leq -0,50$) e na sequência a propriedade P1 (R= -0,4947) classificada em fraca negativa ($-0,50 < R \leq -0,10$).

Em seis propriedades (P2, P3, P4, P5, P6 e P9), as correlações mais elevadas (em módulo) foram encontradas para períodos de precipitação acumulada variando entre seis a nove dias. Entretanto, percebe-se que existe uma grande variabilidade em relação a este aspecto.

Não foi possível estabelecer uma relação entre o tipo de fonte de captação e o número de dias de precipitação acumulada para os quais foram encontrados os valores de correlação mais elevados em cada propriedade. O mesmo ocorreu em relação ao tipo de solo.

Quanto à existência de uma relação crescente ou decrescente entre a condutividade elétrica e a precipitação antecedente acumulada, também não foi possível identificar uma correlação com o tipo de solo ou com o tipo de fonte de captação.

6.3.2.3. Demanda bioquimica de oxigênio (DBO)

Na Fig. 73 é mostrado o gráfico que representa a relação entre os valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e da precipitação acumulada para os 15 dias antecedentes a cada coleta, para o açude da propriedade P6.

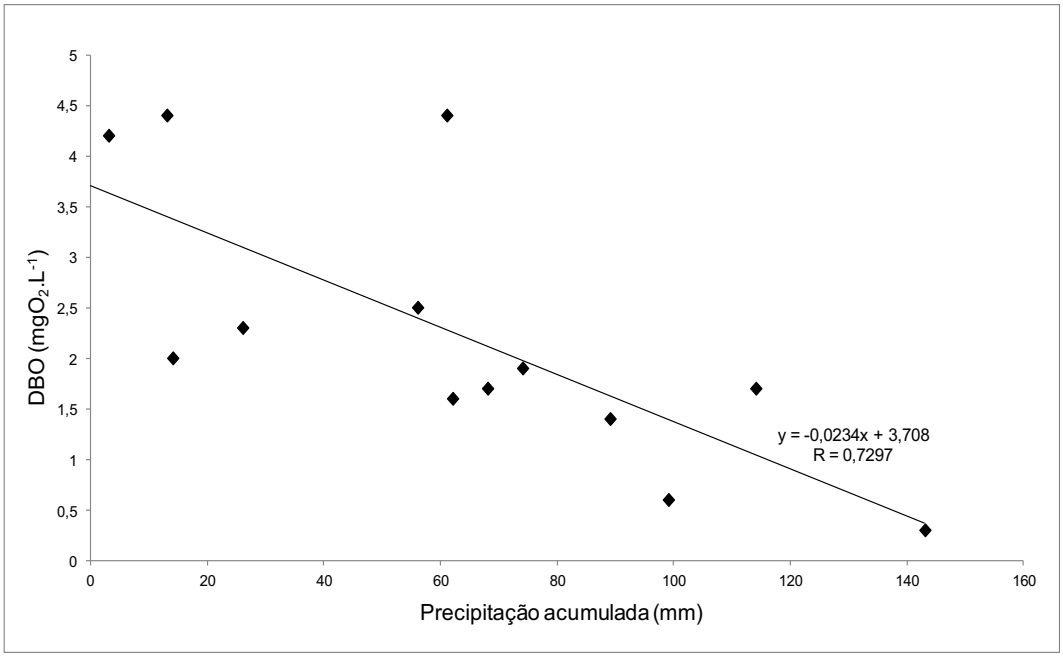


Figura 73. Correlação entre DBO e precipitação acumulada em 15 dias na propriedade P6.

Na tab. 24 são apresentadas as correlações mais elevadas entre a DBO e as precipitações acumuladas nas 14 propriedades rurais estudadas.

.

Tabela 24. Correlações entre a DBO e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais

Propriedades	Equações	Correlações	Dias de precipitação acumulada
P1	y = -0,0118x + 2,9715	R = -0,4539	13
P2	y = -0,0196x + 5,6207	R = -0,4252	28
P3	y = -0,0291x + 3,7858	R = -0,4284	7
P4	y = -0,0286x + 2,739	R = -0,3103	4
P5	y = 0,0286x + 0,6962	R = 0,6934	11
P6	y = -0,0234x + 3,708	R = -0,7297	15
P7	y = -0,0659x + 7,1555	R = -0,3909	10
P8	y = -0,0479x + 5,8344	R = -0,6922	13
P9	y = -0,0256x + 8,5979	R = -0,3877	28
P10	y = -0,0393x + 5,8185	R = -0,3670	7
P11	y = 0,0155x + 0,9117	R = 0,5122	23
P12	y = 0,0216x - 0,609	R = 0,6713	30
P13	y = -0,0252x + 5,3263	R = -0,2884	4
P15	y = 0,1075x + 4,2079	R = 0,4701	4

Em 28,57% das fontes de captação de água os valores da DBO apresentaram uma relação positiva com as precipitações acumuladas, sendo que os valores mais elevados de correlações foram encontrados nas propriedades P5 (R=0,6934), P12 (R=0,6713) e P11 (R=0,5122), estas correlações são classificadas como moderadas positivas (0,50 < R≤ 0,80) e na propriedade P15 (R=0,4701) é classificada como fraca positiva (0,10 ≤ R< 0,50). Quanto à localização das propriedades, percebe-se que duas das propriedades (P5 e P11), com maiores valores de correlações estão localizadas na mesma micro-região (São Domingos) e as outras duas propriedades (P12 e P15) estão localizadas na micro-região Picada Flor.

Para as fontes que apresentaram uma relação negativa entre a condutividade elétrica e a precipitação acumulada, as correlações mais altas foram encontrados nas propriedades P6 (R= -0,7297), P8 (R= -0,6922) são classificadas como moderadas negativas (-0,80 < R ≤ -0,50) e P1 (R= -0,4539) classificada como fraca negativa (-0,50 < R ≤ -0,10). Quanto à localização das propriedades, percebe-se que duas das propriedades (P6 e P8) com maior correlação (em módulo) estão localizadas na mesma micro-região (Centenário).

Em cinco propriedades (P1, P5, P6, P7 e P8), as correlações mais elevadas (em módulo), foram encontradas para períodos de precipitação acumulada variando entre dez a 15 dias. Entretanto, percebe-se que existe uma grande variabilidade em relação a este aspecto.

Não foi possível estabelecer uma relação entre o tipo de fonte de captação e o número de dias de precipitação acumulada para os quais foram encontrados os valores de correlação mais elevados em cada propriedade. O mesmo ocorreu em relação ao tipo de solo.

Quanto à existência de uma relação crescente ou decrescente entre a DBO e a precipitação antecedente acumulada, também não foi possível identificar uma correlação com o tipo de solo ou com o tipo de fonte de captação.

6.3.2.4. Oxigênio dissolvido (OD)

Na Fig. 74 é mostrado o gráfico que representa a relação entre os valores de oxigênio dissolvido (OD) e da precipitação acumulada para 11 dias antecedentes a cada coleta de água no açude da propriedade P1.

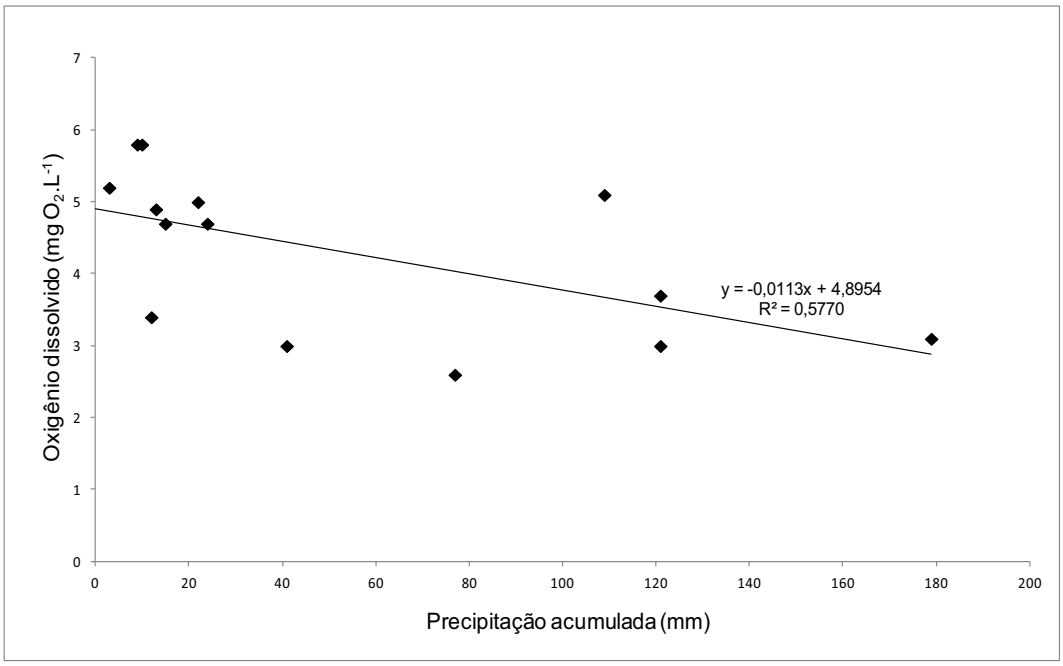


Figura 74. Correlação entre o oxigênio dissolvido e a precipitação acumulada em 11 dias na propriedade P1.

Na tab. 25 são apresentadas as correlações mais elevadas entre o oxigênio dissolvido e as precipitações acumuladas nas 14 propriedades rurais estudadas.

Tabela 25. Correlações entre o oxigênio dissolvido e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais

Propriedades	Equações	Correlações	Dias de precipitação acumulada
P1	y = -0,0113x + 4,8954	R = -0,5770	11
P2	y = 1,5181x + 46,161	R = 0,4148	9
P3	y = -0,0129x + 5,4375	R = -0,4602	14
P4	y = -0,006x + 5,8538	R = -0,1487	11
P5	y = 0,0473x + 5,5546	R = 0,5210	7
P6	y = 0,0383x + 5,0311	R = 0,4660	8
P7	y = 0,0518x + 3,1027	R = 0,6569	9
P8	y = -0,0479x + 5,8344	R = -0,6922	13
P9	y = -0,0255x + 8,7854	R = -0,5214	28
P10	y = 0,0316x + 3,8836	R = 0,4767	13
P11	y = 0,0438x + 6,3916	R = 0,3955	7
P12	y = -0,0167x + 8,6753	R = -0,5734	30
P13	y = -0,0104x + 8,2356	R = -0,3551	24
P15	y = 0,1258x + 4,7888	R = 0,6628	6

Em 50% das fontes de captação de água os valores de OD apresentaram uma relação positiva com as precipitações acumuladas. As correlações mais elevadas foram encontrados nas propriedades P15 (R= 0,6628), P7 (R=0,6569) e P5 (R =0,5210), estas correlações são classificadas como moderadas positivas ($0,50 < R \leq 0,80$) e na sequência a propriedade P10 (R=0,4767) que é classificada como fraca positiva ($0,10 \leq R < 0,50$).

Para as fontes que apresentaram uma relação negativa entre o OD e a precipitação acumulada, as correlações mais altas (em módulo) foram encontrados nas propriedades P8 (R= -0,6922), P1 (R= -0,5770), P12 (R= -0,5734) e P9 (R= -0,5214), estas correlações são classificadas como moderadas negativas ($-0,80 < R \leq -0,50$). Duas das propriedades (P8 e P9) estão localizadas na mesma micro-região (Centenário).

Em seis propriedades (P1, P2, P4, P7, P8 e P10), as correlações mais elevadas (em módulo), foram encontradas para períodos de precipitação acumulada variando entre nove a 13 dias. Entretanto, percebe-se que existe uma grande variabilidade em relação a este aspecto.

As propriedades P2, P7, P8 e P10 possuem fonte de captação Tipo 2, sendo que o mesmo número de dias de precipitação acumulada ocorreu para P2 e P7 (9 dias) e para P8 e P10 (13 dias). Estas últimas possuem a classificação de solo argissolo vermelho e amarelo. Quanto à existência de uma relação crescente ou decrescente entre OD e a precipitação antecedente acumulada, também não foi possível identificar uma correlação com a classificação do solo ou com o tipo de fonte de captação.

6.3.2.5. Sólidos suspensos

Na Fig. 75 é apresentado o gráfico que mostra a relação entre os valores de sólidos suspensos e da precipitação acumulada para 27 dias antecedentes à cada coleta de água, no açude da propriedade P13.

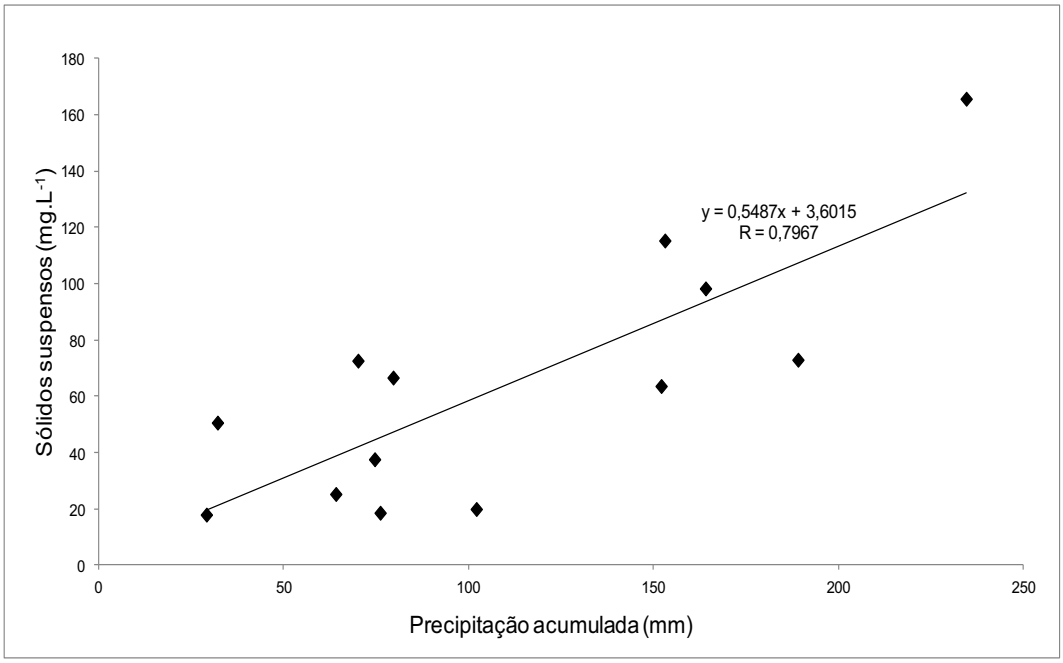


Figura 75. Correlação entre os sólidos suspensos e precipitações acumuladas em 27 dias na propriedade P13.

Na tab. 26 são apresentadas as correlações mais elevadas entre os valores de sólidos suspensos e as precipitações acumuladas nas 14 propriedades.

Tabela 26. Correlações entre os sólidos suspensos e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais

Propriedades	Equações	Correlações	Dias de precipitação acumulada
P1	y = 0,6425x + 25,049	R = 0,3266	2
P2	y = 0,9887x + 30,222	R = 0,3467	9
P3	y = -0,2274x + 54,29	R = -0,4157	30
P4	y = -0,8476x + 42,785	R = -0,4178	4
P5	y = -0,1577x + 37,708	R = -0,4775	28
P6	y = 0,1715x + 9,4128	R = 0,3557	21
P7	y = -0,1549x + 48,369	R = -0,1819	23
P8	y = 0,1398x + 24,026	R = 0,2975	28
P9	y = 0,5648x + 25,036	R = 0,2400	5
P10	y = 0,3588x + 47,484	R = 0,6450	29
P11	y = -0,2065x + 26,76	R = -0,1939	6
P12	y = 0,3173x + 10,985	R = 0,4609	30
P13	y = 0,5487x + 3,6015	R = 0,7967	27
P15	y = -0,3034x + 73,429	R = -0,4320	19

Os valores de sólidos suspensos apresentaram uma relação positiva com as precipitações acumuladas em 57,14% das fontes de captação de água. Nas propriedades P13 (R= 0,7967), P10 (R =0,6450) estas correlações são classificadas como moderadas positivas ($0,50 < R \leq 0,80$) e P12 (R=0,4609) classificada como fraca positiva ($0,10 \leq R < 0,50$). Quanto à localização das propriedades, percebe-se que apenas duas das propriedades (P13 e P12) estão localizadas na mesma micro-região (Picada Flor).

Para as fontes que apresentaram uma relação negativa entre os sólidos suspensos e a precipitação acumulada, as correlações mais altas (em módulo) foram obtidas nas propriedades P5 (R= -0,4775), P15 (R= -0,4320), P4 (R= -0,4178) e P3 (R= -0,4157) e são classificadas como fracas negativas ($-0,50 < R \leq -0,10$). Quanto à localização das propriedades, três das propriedades (P5, P4 e P3) estão localizadas na mesma micro-região (São Domingos).

Em seis propriedades (P3, P5, P8, P10, P12 e P13), as correlações mais elevadas (em módulo) para cada propriedade, foram encontradas para períodos de precipitação acumulada variando entre 27 e 30 dias. Entretanto, percebe-se que existe uma grande variabilidade em relação a este aspecto.

Não foi possível estabelecer uma relação entre o tipo de fonte de captação e o número de dias de precipitação acumulada para os quais foram encontrados os valores de correlação mais elevados em cada propriedade. O mesmo ocorreu em relação à classificação de solo.

Quanto à existência de uma relação crescente ou decrescente entre os sólidos suspensos e a precipitação antecedente acumulada, também não foi possível identificar uma correlação com a classificação de solo ou com o tipo de fonte de captação.

6.3.2.6.Sólidos dissolvidos

Na Fig. 76 é mostrado o gráfico que representa a relação entre os valores de sólidos dissolvidos e da precipitação acumulada para 18 dias antecedentes a cada coleta, no açude da propriedade P9.

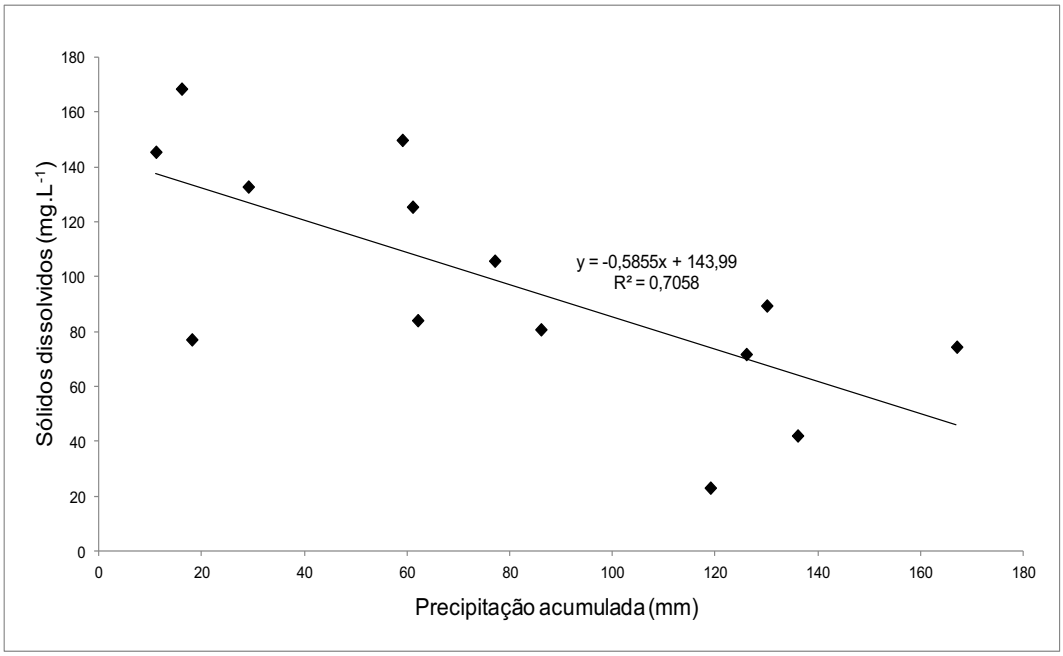


Figura 76. Correlação entre os sólidos dissolvidos e precipitações acumuladas em 18 dias na propriedade P9.

Na tab. 27 são apresentadas as maiores correlações encontradas entre sólidos dissolvidos e as precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais.

Tabela 27. Correlações entre os sólidos dissolvidos e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais

Propriedades	Equações	Correlações	Dias de precipitação acumulada
P1	y = -0,0113x + 4,8954	R = -0,5770	11
P2	y = 1,5181x + 46,161	R = 0,4148	9
P3	y = 0,2489x + 31,952	R = 0,5353	16
P4	y = -0,1937x + 89,048	R = -0,2640	27
P5	y = -0,2961x + 113,9	R = -0,4556	30
P6	y = -0,2078x + 73,321	R = -0,2544	28
P7	y = 0,4578x + 59,972	R = 0,3592	25
P8	y = -0,4831x + 89,878	R = -0,5498	25
P9	y = -0,5855x + 143,99	R = -0,7058	18
P10	y = 0,363x + 79,32	R = 0,4751	25
P11	y = -0,3221x + 102,32	R = -0,4541	30
P12	y = -0,7486x + 286,14	R = -0,4890	30
P13	y = 0,5475x + 75,003	R = 0,6078	4
P15	y = 0,5723x + 94,946	R = 0,4685	7

Em 42,86% das fontes de captação de água os valores de sólidos dissolvidos apresentaram uma relação positiva com as precipitações acumuladas, sendo que o valor mais elevado de correlação foi encontrado na propriedade P13 (R= 0,6078) classificada como moderada positiva ($0,50 < R \leq 0,80$) e as propriedades P10 (R= 0,4751), P15 (R= 0,4685) e P2 (R= 0,4148) são classificadas como fracas positivas ($0,10 \leq R < 0,50$). Quanto à localização das propriedades, percebe-se que apenas duas das propriedades (P13 e P15) estão localizadas na mesma micro-região (Picada Flor).

Para as fontes que apresentaram uma relação negativa entre os sólidos dissolvidos e a precipitação acumulada, os valores de correlações mais altos (em módulo) foram encontrados nas propriedades P9 (R= -0,7058), P1 (R= -0,5770) e P8 (R= -0,5498), sendo estas correlações classificadas como moderadas negativas ($-0,80 < R \leq -0,50$). Quanto à localização das propriedades, percebe-se que duas das propriedades (P9 e P8) estão localizadas na mesma micro-região (Centenário) e as outras duas propriedades (P13 e P1) estão localizadas na micro-região Picada Flor.

Em oito propriedades (P4, P5, P6, P7, P8, P10, P11 e P12), as correlações mais elevadas (em módulo) para cada propriedade, foram encontradas para períodos de precipitação acumulada variando entre 25 a 30 dias. Entretanto, percebe-se que existe uma grande variabilidade em relação a este aspecto.

A relação entre o tipo de fonte de captação, a classificação do solo e o número de dias de precipitação acumulada antecedente à coleta de água, observa-se nas propriedades P7, P8 e P10, que possuem fonte de captação Tipo 2, classificação de solo argissolo vermelho amarelo e o mesmo número de dias de precipitação acumulada antecedente à coleta de água (25 dias).

Quanto à existência de uma relação crescente ou decrescente entre os sólidos dissolvidos e a precipitação antecedente acumulada, observa-se que as propriedades P15 e P2 possuem o mesmo tipo de fonte de captação (T1) e a mesma classificação de solo (argissolo acinzentado) para uma relação crescente entre o parâmetro estudado e a precipitação.

6.3.2.7. Sólidos totais

Na Fig. 77 é apresentado o gráfico que mostra a relação entre os valores de sólidos totais e da precipitação acumulada em 23 dias antecedentes a cada coleta de água, no açude da propriedade P13.

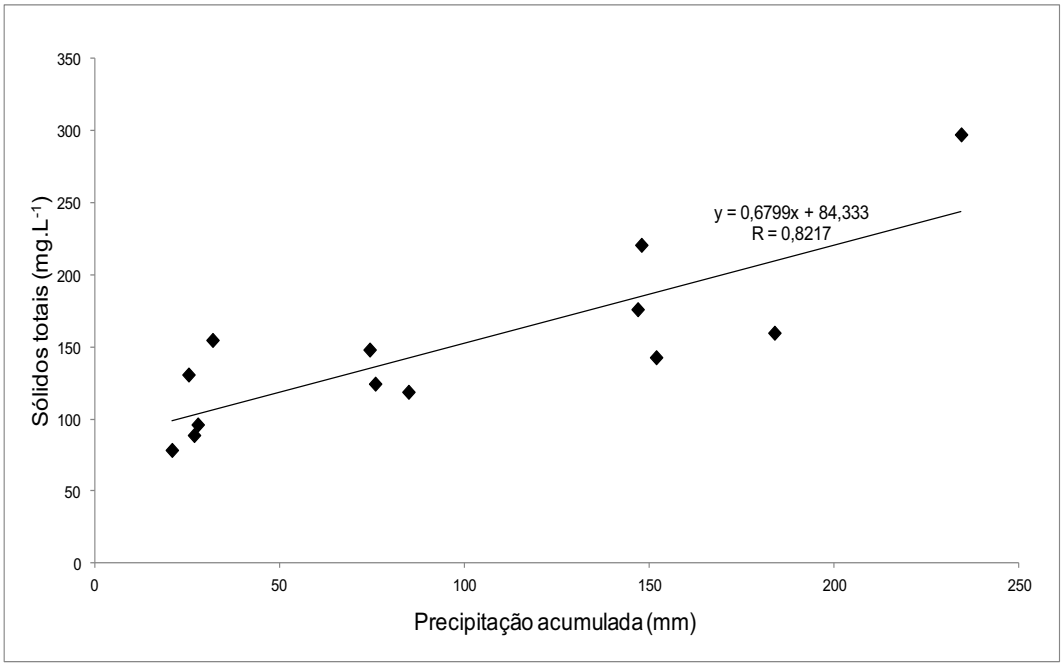


Figura 77. Correlação entre os sólidos totais e precipitações acumuladas em 23 dias na propriedade P13.

A tab. 28 mostra as correlações mais elevadas entre a alcalinidade e as precipitações acumuladas nas 14 propriedades rurais estudadas.

Tabela 28. Correlações entre os sólidos totais e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais

Propriedades	Equações	Correlações	Dias de precipitação acumulada
P1	y = -0,245x + 97,189	R = -0,2198	5
P2	y = 2,505x + 76,534	R = 0,4317	9
P3	y = 0,1934x + 63,847	R = 0,2412	16
P4	y = -0,2052x + 126,15	R = -0,2337	30
P5	y = -0,4468x + 151,22	R = -0,5072	30
P6	y = 1,1745x + 67,593	R = 0,1985	5
P7	y = 0,4272x + 104,04	R = 0,2917	25
P8	y = -0,5216x + 116,36	R = -0,5407	18
P9	y = -0,6297x + 175,08	R = -0,6852	18
P10	y = 0,7058x + 129,09	R = 0,6937	27
P11	y = -0,4179x + 135,36	R = -0,4685	30
P12	y = -0,4291x + 304,03	R = -0,3720	30
P13	y = 0,6799x + 84,333	R = 0,8217	23
P15	y = -0,3966x + 201,98	R = -0,3887	30

Os valores dos sólidos totais apresentaram uma relação positiva com as precipitações acumuladas em 42,86% das fontes de captação de água, sendo as correlações mais elevadas encontradas nas propriedades P13 (R= 0,8217), que foi classificada como forte positiva (0,80≤ R< 1,00) e na P10 (R= 0,6937) classificada como moderada positiva (0,50 < R≤ 0,80).

Para as fontes que apresentaram uma relação negativa entre os sólidos totais e a precipitação acumulada, as correlações mais elevadas (em módulo) foram encontradas nas propriedades P9 (R= -0,6852), P8 (R= -0,5407) e P5 (R = -0,5072), classificadas como moderadas negativas (-0,80 < R≤ -0,50). Quanto à localização das propriedades P9 e P10 estão localizadas na mesma micro-região (Centenário).

Em cinco propriedades (P4, P5, P11, P12 e P15), as correlações mais elevadas (em módulo), foram encontradas para uma precipitação acumulada de 30 dias, sendo que para outras duas propriedades (P8 e P9) as correlações mais altas ocorreram em uma precipitação acumulada de 18 dias.

A relação entre o tipo de fonte de captação e a classificação do solo ocorreu nas propriedades P4 e P15. Estas propriedades possuem fonte de captação Tipo 1, classificação de solo argissolo acinzentado e o mesmo número de dias de precipitação acumulada antecedente à coleta de água (30 dias).

Quanto à existência de uma relação crescente ou decrescente entre os sólidos totais e a precipitação antecedente acumulada, observa-se que as propriedades P8 e P9 possuem a mesma classificação de solo (argilossolo amarelo vermelho) para uma mesma precipitação acumulada (18 dias), com uma relação decrescente.

6.3.2.8. Turbidez

Na Fig. 78 é apresentado o gráfico que representa a relação entre os valores de turbidez e da precipitação acumulada para oito dias antecedentes a cada coleta de água, no açude da propriedade P10.

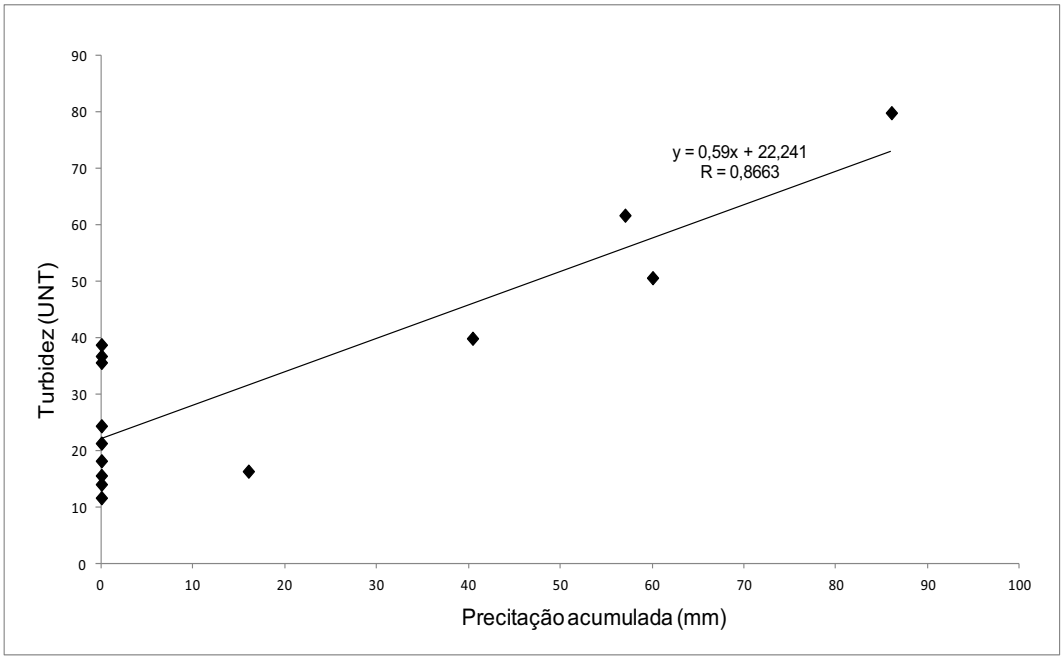


Figura 78. Correlação entre a turbidez e precipitações acumuladas em oito dias na propriedade P10.

Na tab.29 são apresentadas as correlações mais elevadas entre a turbidez e as precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais.

Tabela 29. Correlações entre a turbidez e precipitações acumuladas em 14 propriedades rurais

Propriedades	Equações	Correlações	Dias de precipitação acumulada
P1	y = 0,0613x + 1,8346	R = 0,7214	30
P2	y = 0,9724x + 112,95	R = 0,2238	8
P3	y = 0,1459x + 4,6776	R = 0,7148	7
P4	y = 0,8366x + 28,363	R = 0,4738	3
P5	y = 0,1141x + 11,875	R = 0,5696	9
P6	y = 0,168x + 7,5409	R = 0,3677	5
P7	y = 0,0383x + 9,3172	R = 0,3481	25
P8	y = -0,0548x + 15,793	R = -0,1895	10
P9	y = -0,2144x + 39,485	R = -0,4272	8
P10	y = 0,5900x + 22,241	R = 0,8663	8
P11	y = 0,1881x + 8,108	R = 0,7589	6
P12	y = 6,9575x + 126,9	R = 0,9375	4
P13	y = 4,3568x + 15,623	R = 0,8916	6
P15	y = 3,0861x + 12,857	R = 0,9387	6

Os valores da turbidez apresentaram uma relação positiva com as precipitações acumuladas em 85,71% das fontes de captação de água, sendo as correlações mais elevadas as encontradas nas propriedades P15 (R= 0,9387), P12 (R=0,9375), P13 (R= 0,8916), P10 (R= 0,8663), estas correlações são classificadas como fortes positivas ($0,80 \leq R < 1,00$) e as propriedades P11 (R=0,7589), P1 (R= 0,7214), P3 (R= 0,7148) e P5 (R= 0,5696) possuem correlações classificadas como moderadas positivas ($0,50 \leq R < 0,80$). Quanto à localização das propriedades, as três propriedades com maior correlação (P15, P12 e P13) estão localizadas na mesma micro-região (Picada Flor).

Para as fontes que apresentaram uma relação negativa entre a turbidez e a precipitação acumulada, foram encontradas, respectivamente nas propriedades P9 e P8, com as correlações de R= -0,4272 e R= -0,1895, sendo ambas classificadas como fracas negativas ($-0,50 < R \leq -0,10$).

Em dez propriedades (P2, P3, P5, P8, P9, P10, P11, P12, P13 e P15), as correlações mais elevadas (em módulo), para cada propriedade, foram encontradas para períodos de precipitação acumulada variando entre seis a dez dias. Entretanto, percebe-se que existe uma grande variabilidade.

A relação entre o tipo de fonte de captação, classificação do solo e o número de dias de precipitação acumulada ocorreu nas propriedades P8 e P10 que possuem o mesmo tipo de fonte de captação (Tipo 2) e a mesma classificação de solo (argissolo vermelho amarelo).

Quanto à existência de uma relação crescente ou decrescente entre a turbidez e a precipitação antecedente acumulada, as propriedades P8 e P9, que estão com uma relação decrescente, possuem uma mesma classificação de solo (argissolo vermelho amarelo).

Considerando os oito parâmetros estudados, de modo geral, a propriedade P5 apresentou valores de correlações relativamente elevados, enquanto a propriedade P2 apresentou valores baixos de correlações quando comparadas com as demais propriedades. A P5 é a única propriedade que tem como tipo de fonte de captação o curso de água natural (Tipo 4) e a propriedade P2 consta de um reservatório artificial originado por nascentes e abastecido por águas subterrâneas e não possui proteção nas margens deste reservatório, conforme Fig.64.

Na correlação entre a turbidez e a precipitação acumulada em períodos de seis a dez dias, observa-se que ocorreram valores muito elevados e na grande maioria positivos (85,71%), comparados com os outros parâmetros analisados.

6.4. Conclusões

A partir dos resultados obtidos neste trabalho é possível concluir que:

- os agrupamentos formados pelas propriedades na análise de componentes principais, os três primeiros componentes explicaram 74,48% da variância dos dados, mas não se relacionaram em função dos tipos de fonte de captação, classificação do solo ou pela localização nas micro-regiões e sim pelos atributos a elas relacionados (físicos, químicos e microbiológicos) mais significativos;

- embora tenham ocorrido 5 vezes correlações fortes e 37 vezes correlações moderadas entre os parâmetros e a precipitação acumulada antecedente à data de coleta de água, ocorreu uma variação muito grande nos valores das correlações entre as precipitações acumuladas nas propriedades, com os tipos de fontes de captação de água, classificação do solo e micro-região em que se encontram;

- a turbidez foi o parâmetro com o maior número de correlações fortes e moderadas positivas e os parâmetros de oxigênio dissolvido e alcalinidade mostraram correlações moderadas negativas em várias fontes de captação de água, quando relaciondas com a precipitação acumulada.

-o conjunto de resultados obtidos permite inferir que a qualidade da água dos açudes estudados possa estar mais fortemente correlacionada com outros fatores, além daqueles aqui apresentados. É possível que tais fatores tenham relação como as características do entorno, bem como com as atividades antrópicas realizadas no mesmo.

7. CONCLUSÕES GERAIS

A partir dos resultados obtidos dos três capítulos foi possível concluir que:

- não houve um padrão de comportamento espacial e temporal dos valores de capacidade de água disponível e de armazenamento de água no solo para os meses avaliados;

- o processo erosivo no talude a montante observado nos maciços de terra constitui um problema muito importante, pois os sedimentos produzidos podem prejudicar a qualidade da água de irrigação e existe subdimensionamento dos vertedouros quanto a vazão máxima referente à área de drenagem; e

-houve correlações forte somente entre o parâmetro turbidez de qualidade de água usada na irrigação e a precipitação antecedente em algumas propriedades.

8. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Paulo Emilio P. Manejo de Irrigação. EPAMIG. **Informe Agropecuário**, v.31, n. 259, nov./dez. 2010, p.17-24.

ALONSO, Thiago de Paula. **Condutividade hidráulica de solos compactados em ensaios com permeâmetro de parede flexível.** 2005. 137f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) Programa de Pós-Graduação em Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos.

AMARO FILHO, J.; ASSIS JUNIOR,R.N.; MOTA, J.C.A.. **Física do solo: conceitos e aplicações.** Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008. 290p.

ANDRADE, Eunice M. et al. **Avaliação da qualidade das águas no açude Ayres de Souza pelo emprego da estatística Multivariada.** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18.,Campo Grande. **Anais do...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009.18p.

AYERS, Roberto S.; WESTCOT, Dennis W. A qualidade da água na agricultura. Tradução:GHEYI, Hans Raj; MEDEIROS, José Francismar; DAMASCENO, Francisco Ademilton Vieira. Campina Grande: UFPB. (Estudo FAO: Irrigação e Drenagem, 29. Revisado 1), 1999. 153p.

AZONASUL: ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DA ZONA SUL. Noticia: Morango já colorem cenário em Turuçu. 2007.
Disponível em: < http://www.azonasul.org.br/Noticias/27> Acesso em: 15 de agosto de 2009.

BAMBERG, Adilson Luís. **Atributos físicos, hídricos e químicos em sistemas de produção de morango em Turuçu-RS.** 2010. 101f. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Área de concentração: Solos). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

BAUMGARTEN, Maria da Graça Zepka; POZZA, Simone Andréa. **Qualidade de águas:** descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental**.** Rio Grande RS : ed. FURG, 2001. 166p.

BENETTI, Antonio; BIDONE, Francisco. **O meio ambiente e os recursos hídricos. In: Hidrologia:** Ciência e Aplicação. 3ª ed. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ ABRH, 2004. p.849 - 943.

BERNARDI, J.V.E.; LACERDA, L.D.; DOREA, J.G.; LANDIM,P.M.B.; GOMES, J.P.O.;ALMEDA,R.; MANZATTO, A.G.; BASTOS, W.R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, 23(1). p.79 - 90, 2009.

BERNARDO, Salassier; SOARES, Antônio Alves; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Manual de Irrigação.** Viçoça: UFV, 2006. p.625.

BOAS, R. L. V.; OLIVEIRA, M. V. A. M.; MOTA, P. R. A.; BETTINI, M. O. Agricultura fertirrigada avançada no Brasil. **Agrianual** p.54-57, 2005.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; et al. **Introdução à Engenharia Ambiental. O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2.ed.; São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2005. 318p.

BUREAU of reclamation. **Design of Small Dams**. US Department of the Interior. Colorado, Estados Unidos, 1987. 904p.

CARVALHO, Jacinto de A. **Dimensionamento de pequenas barragens para irrigação**. Lavras: UFLA, 2008. 158p.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática.** Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372p.

CEBELLOS, Beatriz Suzana O. et al. Variabilidade da qualidade das águas de açudes nordestinos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 19. , v. 34, 1997. p. 2080-2093.

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. **Appied hydrology**. New York, McGraw-Hill, 1988. 572p.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.

COSTA, Gustavo G. **Produção e qualidade de frutos do morangueiro, sob diferentes tensões da água no solo**. 2011. 77f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo. Universidade Federal de Lavras, Lavras.

D`ÁVILA, Alfredo L. M. Apostila: **Mecânica dos solos aplicada à Engenharia Agrícola**. Curso de Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Pelotas, 2000. 98p.

D'ÁVILA, Alfredo L. M. Notas de aula: **Barragens de terra agrícola**. Curso de Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Pelotas, 2010.

DECLARAÇÃO Ministerial de Haia sobre:Segurança Hídrica no Século 21, 2000. Disponível em: <http://www.meioambiente.uerj.br/emrevista/documentos/haia.htm> Acesso em: 25 de agosto de 2009.

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J. W.; PARLANGE, M. B. **Curva de retenção**: SWRC, v. 2, 1996.

ESTEVES, Francisco Assis. **Fundamentos de Limnologia.** 2.ed. Rio de Janeiro: Interciências Ltda, 1998. 574p.

ESTRELA, Carina Costa. **Variabilidade espacial e temporal da qualidade da água de irrigação no sistema de produção de morango em propriedades familiares no município de Turuçu-RS.** 2008. 113f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

FAMURS–Federação das Associações de Municípios do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.portalmunicipal.org.br/entidades/famurs/demografia/mu_demografia.asp?iIdEnt=5523&iIdMun=100143441 > Acesso: 15 de agosto 2009.

GODOY H., BERNUCCI L.B. **O método das pastilhas na compreensão das propriedades geotécnicas básicas dos solos:** um recurso didático. CONGRESSO DE PESQUISA EM TRANSPORTES. 16., Natal, RN, 2002. 1: p.145 – 156.

GOMES, Heber Pimentel. **Engenharia de Irrigação:** Hidráulica dos sistemas de pressurizados, aspersão e gotejamento. 3. ed. Campina Grande. Editora: UFPB - Universidade Federal da Paraíba, 1999. 412p.

GOULART, J.P.; MAESTRINI, A.P.; NEBEL, A. Relação intensidade-duração-frequência de chuvas em Pelotas-RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Pelotas, v.7, n.1-2, p.543-548, 1992.

HRADILEK, P. J. et al. **Avaliação de Pequenas Barragens**. In: Manual de Irrigação do Ministério da Integração Regional. v.6. Brasília: Bureau of Reclamation, 2002.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades. Disponível em: <*www.ibge.gov.br*. > Acesso em: 14 de agosto 2009.

ISLABÃO, Gláucia Oliveira. **Avaliação temporal e espacial dos atributos químicos e microbiológicos do solo em sistemas de produção de morango de Turuçu/RS**. 2009. 104f. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia) - Área de concentração: Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

KLEFENS, P.C.O. **O Biplot na análise fatorial multivariada.** 2009. 103f. Dissertação (Mestrado em Ciências) Área de concentração: Estatística e Experimentação Agronômica. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba .

KLUPEK, A. R.; BRANCO, C. C. Z.; PERES, C. K. Variação sazonal de alguns parâmetros físicos e químicos em três rios pertencentes a uma bacia de drenagem na região centro-sul do Estado do Paraná, Sul do Brasil. DOI:10.4025. **Acta Sci.Biol. Sci.** Maringá, v. 30, n.4, p. 431- 438, 2008.

KUTILEK, Miroslav, NIELSEN, Donald. R. **Soil hydrology.** Germany, GeoEcology textbook, Catena Verlag, 1994.

KVALHEIM, O. M. Interpretation to latent-variable for projevtion methods and their use aims in the interpretation of multicomponent spectroscopic and chomatiographic data. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 4, 1998. p.11 -15.

LIBARDI, Paulo Leonel. Água no solo**.** In: **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade brasileira de Ciências do Solo, 2010. p.103 -152.

LIBARDI, Paulo Leonel. **Dinâmica da Água no Solo.** Editora da Universidade de São Paulo: Acadêmica; 61. São Paulo, 2005. 344p.

LIER, Quirijn de Jong van. Disponibilidade de água às plantas**.** In: **Física do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade brasileira de Ciências do Solo, 2010. p.283 – 297.

LIMA, Eliana Beatriz N. R. **Modelagem Integrada para Gestão da Qualidade da água na bacia do Rio Cuiabá.** 2001. Tese (Doutorado em Engenharia). Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

LOPES, A.S. et al. **Manejo de irrigação (tensiometria e balance climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional.** Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v. 24, n.1, p.89 -100, 2004.

MADAIL, João Carlos M. ; REICHERT, Lírio José; MIGLIORINI, Luis Carlos. Coeficientes técnicos para a cultura do morangueiro. Sistemas de Produção de Morango. Embrapa Clima Temperado, Pelotas. 2005. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/sistemas/morango/cap15.htm > Acesso: 12 de agosto de 2009.

MANTOVANI, Everardo C.; BERNARDO, Salassier; PELARETTI, Luiz Fabiano. **Irrigação:** Princípios e métodos. Viçosa: Ed. UFV, 2006, 318p.

MARSAL, Raul J. **Presas Pequeñas: Notas sobre diseño y construccion**. Instituto de Ingenieria. Universidad Nacional Autonoma de Mexico. Enero, 1974. 79p.

MARTINS, Paulo Eduardo Silva et al.. Práticas de manejo de irrigação como medida de conservação do solo e da água. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, n.10, 19p., 2010.

MASSAD, Faiçal. **Obras de Terra - Curso Básico de Geotecnia.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

MATOS, Antonio T.; SILVA, Demétrius de; PRUSKI, Fernando F. **Barragens de terra de pequeno porte**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2003. 124p.

MATZENAUER, Ronaldo; VIANA, D. R.; BUENO, A. C; MALUF, J. R. T.; CARPENEDO, C. B.. Regime anual e estacional de chuvas no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15. 2007, Aracaju. **Anais do...** Aracaju, 2007. 5p.

MELLO, C. R.; OLIVEIRA, G.C.; RESCK, J.M.L.; JUNIOR, M. S. D. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. **Ciências Agrotécnica**, Lavras, jul./ago., v. 26, n. 4, p. 836 - 861, 2002.

MINISTÉRIO da Integração Regional. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília: Ministério da Integração Regional, 2002.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do Pequeno Açude.** Recife: SUDENE. 1992.

MOROCO, J. Análises de Componentes Principais. In: **Análise Estatística com Utilização do SPSS**. 3 ed. Lisboa: Sílabo, 2003. p. 230 - 257.

MÜLLER, Valberto. **Solos dispersos e problemas de erosão em obras de engenharia na planície costeira do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 67f. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia). Área de concentração: Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production.** St. Joseph: ASAE. 1986. 383p.

NOGAMI, J.S.; COZZOLINO, V. M. N. A Identificação de Solos Tropicais: dificuldades e propostas de um método preliminar da REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 20., Fortaleza, v.2 , ABPv. Rio de Janeiro, 1985.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D. F. Identificação expedita dos grupos da classificação MCT para solos tropicais. CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 10., **Anais do...** Foz do Iguaçu: ABMS, 1994. p.1293-1300.

NOGAMI, J. S. Método das pastilhas para identificação expedita do grupo MCT. 1997. 9p.

OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos. Ensaios de permeabilidade em solos: orientação para a sua execução. **Associação Brasileira de Geologia de Engenharia**, Boletim n. 4, 3.ed., São Paulo, 1996.

PEREIRA, Antonio R.; ANGELOCCI, Luiz R.; SENTELHAS, Paulo C. **Agrometeorologia:** fundamentos e aplicações práticas. Cuiabá: Editora Agropecuária LTDA, 2002. 478p.

PIMENTEL, V. C. R. **Alternativas de solução para os impactos físicos de barragens**. 2004. 349f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica). Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos, em 16 aulas.** Editora Oficina de textos. São Paulo, 2000. 247p.

PIRES, R. C. M. et al. Aspecto técnico da irrigação na cultura do morangueiro. In: Morango: Tecnologia de produção e processamento. SIMPÓSIO NACIONAL DO MORANGO, 1.,1999. Caldas. EPAMIG. 1999.

PIRES, R. C. M. et al. Desenvolvimento vegetativo e produtividade do morangueiro irrigado, com coberturas de solo em diferentes ambientes de cultivo. **Scientia Agricola.** vol. 63, n. 5, p. 417- 425, 2006.

REBOUÇAS, Aldo da C.; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galizia. **Águas doces no Brasil:** capital ecológico, uso e conservação. 3.ed.; São Paulo: Escrituras Editoras, 2006. 748p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Editora Manole, 2008. 478p.

RODRIGUES, Lineu Neiva; Pequenas barragens de terra na bacia do rio Preto. **Gestão Cooperativa**, dezembro de 2006. Disponível em: <http://www.com.br/tabid/446/articleType/ArticleView/articleId/244/Pequenas-barragens-de-terra-na-bacia-do-rio-preto.aspx > Acesso em outubro de 2010.

ROLIM, Fernando Antonio Oliveira; DINIZ, Gustavo Rocha; PEREIRA, Tobias Azevedo da Costa: Palestra: Uma contribuição para a auditoria em pequenas barragens de terra: Pontos críticos de análise. SIMPÓSIO NACIONAL DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS, 10. Recife - PE, outubro de 2005.

RONQUE, Edilson Roberto Vaz. **Cultura do Morangueiro:** revisão e prática. Curitiba**:** EMATER -PR, 1998. 206p.

SANTOS, Alverides M.; MEDEIROS; Antônio Roberto M; WREGE, Marcos Silveira. **Sistema de Produção do Morango.** EMBRAPA Clima Temperado. Pelotas RS. 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Morango/SistemaProducaoMorango/cap10.htm.> Acesso em 18 de janeiro 2010.

SANTOS, Carla Maria A., **Estatística Descritiva:** Manual de Auto-Aprendizagem, Edições- Sílabo. Lisboa, 2007.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide:** statistics, version 5. Cary, 1v.,1985.

SILVA, A. L. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T. et al. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazonica***,* Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia INPA. v.38 , p.735-742, 2008.

SILVA, LINDIBERG F. D. **Avaliação de unidades produtivas da agricultura familiar no perímetro irrigado de Sumé, PB.** 2006. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Área de concentração: Irrigação e Drenagem, Universisdade Federal de Campina Grande, Campina Grade.

STRASSBURGER, André Samuel et al. Sistemas de produção do morangueiro: Fatores que influenciam o manejo da irrigação. In: **Morangueiro Irrigado:** Aspectos técnicos e ambientais do cultivo. Pelotas: Ed. da Universidade Federal de Pelotas, 2009. p.30 – 50.

TAGLIANI, Carlos Roney Armanini (coord.). **Plano Ambiental de Turuçu.** Rio Grande: Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG), 2007. 113p.

TIMM, Luís Carlos et al. **Variabilidade espacial e temporal da qualidade da água de irrigação e seu impacto ambiental no sistema familiar de produção de morango do pólo produtivo do município de Turuçu-RS**. 2009, 151p. Relatório Técnico Final. Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – Departamento de Engenharia Rural.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índices de qualidade da água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, v. 59, p.181-186, jan./ mar. 2002.

TUCCI, Carlos E. M. et al.; **Hidrologia:** ciências e aplicação. 3.ed., primeira reimpressão. Porto Alegre: Editora da UFRGS e EDUSP ABRH, 2004. 952p.

VAN GENUCHTEN, M. T. **A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsatured soils.** Soil Sci. Soc. Am. J**.**, 1980, n. 44, p. 892-898.

VANZELA, Luiz Sérgio. **Qualidade de água para irrigação na microbacia do córrego Três Barras no município de Marinópolis, SP.** 2004. 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia da Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

VIEIRA, D. B. Desperdício de água e energia em irrigação. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 2000. Lisboa. **Anais do…** LNEC, 2000. v.1. p.1 – 25.

VIJAYENDRA, K. V..**Geotechnical Engineering** – II Unit 4 :Flow Nets. Department of Civil Engineering, BIT, Bangalore, 2009. 24p.

VINCENZO, M. C. **Instabilizações e Recuos de Margens de Reservatórios – Análise de Indicadores Físicos.** 2003. 416f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto.** 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte,1996. 243p.

WILDING, L.P.; DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: **Pedogenesis and soil taxonomy:** concepts and interactions. New York: Elsevier. 1983, p.83-116.

WOLD,S.; ESBENSEN, K.; GELADI, P. Principal component analysis. In: KVALHEIM, O. M. (ed.) Proceeding of the Multivariate Statistical Workshop for Geologists and Geochemists, v. 2, Chemolab,1987. p.37-52.

Apêndices

APÊNDICE A - PROTEÇÃO DE TALUDES

Descrição da colocação do geotêxtil como proteção do talude montante:

No dia 14 de dezembro de 2010 foi colocada uma proteção geossintética em uma parte do talude da barragem de terra da propriedade P13. Trata-se de um experimento em que o próprio produtor rural realiza um monitoramento no decorrer do tempo. O talude a montante desta barragem está danificado em uma grande extensão, comprometendo a estabilidade do mesmo. Ocorreu a erosão no nível de água do açude e os sedimentos estão sendo acumulados na água que é utilizada para irrigação do morango e de outras culturas. O geotêxtil utilizado possui as seguintes características especificadas pelo fabricante: Geotêxtil não- tecido (GTN) - composto por fibras cortadas ou filamentos contínuos, distribuídos aleatoriamente, os quais são interligados por processos mecânicos, térmicos ou químicos. Principais funções: drenagem, filtração, proteção, reforço e separação. Espessura (mm): 2,30 mm; largura (m): 2,15 m; comprimento: rolo com 100 m; resistência à tração em faixa larga (kN/m): T= 10 e L= 9; Resistência ao rasgo (N): T= 300 e L= 270; Permeabilidade normal (cm/s): 4 x 10^{-1}; Fluxo de água (L/s/m²): 100; gramatura (g/m²): 200; matéria prima: 100% poliéster; e ponto de fusão: 260°C. Não foram encontradas informações precisas sobre a influência de raios ultravioletas na durabilidade dos geotêxteis. A Fig. 1 mostra o talude de montante da barragem na P13 antes da colocação da proteção.

Figura 1. Talude a montante da barragem de terra da propriedade P13

Etapas de colocação da proteção geotêxtil no talude a montante na Fig. 2:

(a) (b)

(c) (d)

(e) (f)

Figura 2. Etapas de colocação da proteção geotêxtil no talude de montante na propriedade P13: a) deixando o talude mais uniforme; b) prendendo o geotêxtil

verticalmente no talude; c) e d) prendendo a proteção horizontalmente no talude; e) preenchimento de solo no talude; e f) finalização da atividade.

A Fig. 3 ilustra como ficou a vista geral da proteção instalada em um trecho no talude a montante da P13.

Figura 3. Vista geral da proteção na barragem de terra no dia da colocação da proteção de geotêxtil.

Na Fig. 4 pode-se observar que a proteção está intacta após oito meses de sua colocação (visita realizada dia 1°/8/2011).

Figura 4. Talude de montante com a proteção na barragem de terra P13 no dia 1º de agosto de 2011.

APÊNDICE B - PERDA DE ÁGUA POR PERCOLAÇÃO

Exemplo de cálculo da perda por percolação em uma barragem de terra de acordo com Vijayendra (2009).

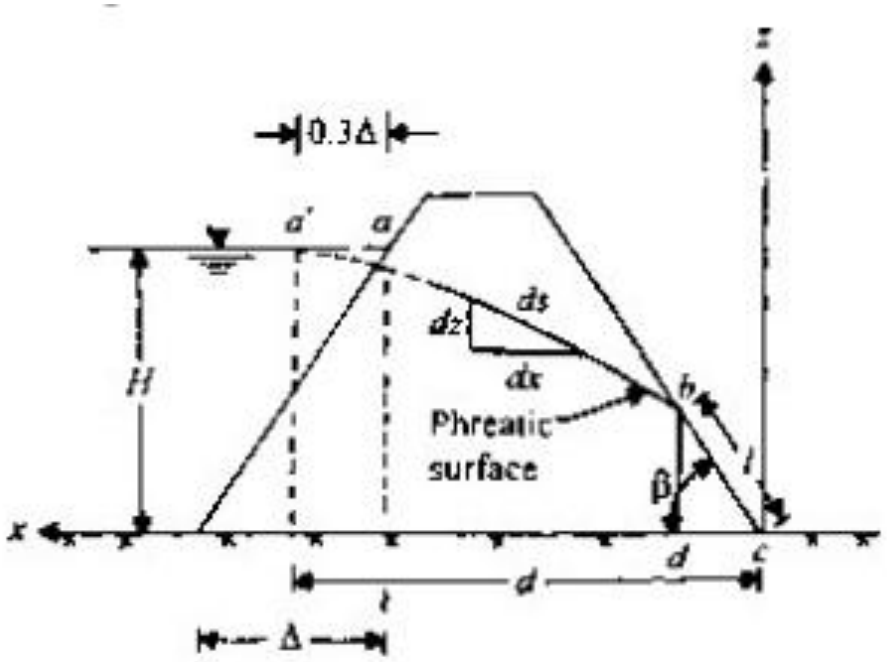


Figura 1. Seção transversal de uma barragem de terra com o diagrama geral da linha freática do fluxo de escoamento.
Fonte: VIJAYENDRA, 2009.

Considerando-se:

Ângulo do talude a jusante e a montante: $\alpha = \beta = tan^{-1}\left(\frac{1}{2}\right) =$ 26,56°

Largura da barragem (Lb)= 3 m;
Altura da barragem (hb)= 4 m;
Altura de água (ha) = 3,5 m.

Base da barragem = $Lb + \left(hb \times \left[\frac{1}{tan\alpha} + \frac{1}{tan\beta}\right]\right) =$ 3 + 4 x 4 = 19 m

Δ = 3,5 $(altura\ de\ água\ ) * \frac{1}{\tan \beta}$ = 3,5 x 2 = 7,0 m

aa': 0,3 x Δ= 0,3 x 7 = 2,1 m

x = d = 19 – 7,0 + 2,1 = 14,1 m

Usando o método de Casagrande, para β < 30°:

$$L = \frac{d}{\cos\beta} - \sqrt{\frac{d^2}{cos^2\beta} - \frac{H^2}{sen^2\beta}}$$

$$L = \frac{14{,}10}{\cos 26{,}56°} - \sqrt{\frac{(14{,}10)^2}{cos^2 26{,}56°} - \frac{(3{,}50)^2}{sen^2 26{,}56°}}$$

L = 14,10/0,894 - (198,81/0,80 – 12,25/0,19)$^{1/2}$

L = 15,77 – (248,82 – 63,27)$^{1/2}$

L = 15,77 – 13,62 = 2,15 m

Perda por percolação (Q)

Para β < 30°, $Q = K \times L \times sen\,\beta \times \tan\beta$, então:

Q = 10^{-8} m.s^{-1}. 2,15 m. 0,44 . 0.50 = 0,473 x 10^{-8} m^3.s^{-1}/metro de barragem multiplicando por 3600 s tem-se = 1,7 x 10^{-5} m^3 · h^{-1}/metro de barragem.

Considerando a superfície total a jusante = 2,15 m² tem-se:

1,7 x 10^{-5} m^3·h^{-1}/metro de barragem / 2,15 m^2 = 0,80. 10^{-5} m/h =

0,08 mm/h = **1,92 mm/dia**