

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

AVALIAÇÃO DA ADEQUABILIDADE DO MANEJO DE UM NITOSSOLO POR
MEIO DO ÍNDICE S

JOÃO FERNANDO APEL MIGUEL

CASCAVEL

2014

JOÃO FERNANDO APEL MIGUEL

**AVALIAÇÃO DA ADEQUABILIDADE DO MANEJO DE UM NITOSSOLO POR MEIO
DO ÍNDICE S**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em **Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental**.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Herminia Ferreira
Tavares

CASCADEL
2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M577a

Miguel, João Fernando Apel

Avaliação da adequabilidade do manejo de um nitossolo por meio do índice S./João Fernando Apel Miguel. Cascavel, 2015.

46 p.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Herminia Ferreira Tavares

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola

1. Solo – Índice de qualidade. 2. Solo – Retenção de água. 3. Gráfico de controle. 4. Viticultura. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21.ed. 631.4

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Bejio – CRB 9^a/965

Revisor de língua portuguesa, língua inglesa e normas de monografia: Ana Maria Vasconcelos.

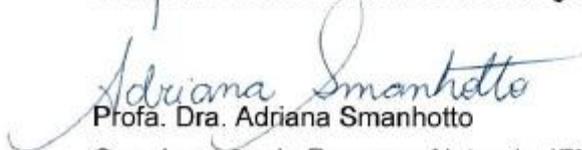
Data das revisões: 12/03/2015.

JOÃO FERNANDO APEL MIGUEL

"Avaliação da adequabilidade do manejo de um Nitossolo por meio do índice S"

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação "*Stricto Sensu*" em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:


Orientadora: Profa. Dra. Maria Herminia Ferreira Tavares
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Unioeste


Profa. Dra. Adriana Smanhotto
Coordenação de Recursos Naturais, IFMS


Prof. Dr. Décio Lopes Cardoso
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Unioeste


Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Unioeste


Profa. Dra. Luciana Pagliosa Carvalho Guedes
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Unioeste

Cascavel, 15 de agosto de 2014.

BIOGRAFIA RESUMIDA

Nascido em Cascavel, interior do Paraná (1990). Defendeu o trabalho de conclusão de curso na área de saneamento ambiental (2010), com o seguinte título: “Eficiência de reator anaeróbio com meio suporte de anéis de poliuretano no tratamento da manipueira”. Estagiou no setor de mecanização agrícola em usina de cana-de-açúcar. Graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2011). É integrante do grupo de pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (RHESA) desde 2012.

DEDICATÓRIA

Para Cláudia, Walci e Renata: as mulheres da minha vida.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela bolsa de pesquisa, aos colegas do RHESA e aos mestres.

RESUMO

AVALIAÇÃO DA ADEQUABILIDADE DO MANEJO DE UM NITOSSOLO POR MEIO DO ÍNDICE S

O objetivo deste trabalho foi determinar o índice S para um Nitossolo sob viticultura irrigada por gotejamento. Foram coletadas 20 amostras de solo para análises químicas na mesma propriedade agrícola, no município de Salto do Lontra, Sudoeste do Paraná. Foi utilizada a metodologia da câmara de Richards para a confecção da curva de retenção de água no solo. O controle estatístico de processo foi usado para verificar quais elementos químicos estavam sob controle estatístico. Os elementos das propriedades químicas que se apresentaram dentro dos limites dos gráficos de controle foram: fósforo, cálcio e alumínio. Os valores calculados do índice S ficaram abaixo do valor crítico de $S = 0,035$, o que significa boa condição física do solo.

PALAVRAS-CHAVE: índice de qualidade do solo, gráfico de controle, retenção de água no solo, viticultura.

ABSTRACT

This trial aimed at determining the S index using a drip irrigated viticulture in a nitossol. Twenty soil samples were collected for chemical analyses at the same familiar farm in Salto do Lontra city, southwestern Paraná. Richards chamber methodology was applied to make the water retention curve. Statistical process control was chosen to check which elements were under statistical control. Only three elements of the chemical properties were within control chart limits: phosphorus, calcium and aluminum. The calculated values of S index were below the critical value of $S = 0.035$, which means good physical condition of the soil.

KEYWORDS: soil quality index, control graph, soil water retention, winegrowing.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Ajustes dos coeficientes de regressão não linear da primeira amostra	39
Tabela 2 Coeficientes da regressão não linear para a segunda amostra.....	39
Tabela 3 Coeficientes da regressão não linear para a terceira amostra	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Croqui do equipamento utilizado	15
Figura 2 Representação IHO, retirado de Leão (2002)	18
Figura 3 Curvas de energia integral para diferentes tipos de solo	20
Figura 4 Degradação do solo, adaptado de Dexter (2004)	21
Figura 5 Coordenadas da área experimental.....	25
Figura 6 Foto da área experimental.....	26
Figura 7 Exemplo de processo fora de controle.....	30
Figura 8 Granulometria do local em estudo	31
Figura 9 Gráfico da saturação de alumínio	32
Figura 10 Gráfico da saturação de bases	32
Figura 11 Gráfico de controle do cálcio	33
Figura 12 Gráfico de controle para o carbono total.....	33
Figura 13 Gráfico de controle para o cobre	34
Figura 14 Gráfico de controle para a condutividade elétrica	34
Figura 15 Gráfico de controle para o fósforo.....	34
Figura 16 Gráfico de controle para o magnésio	35
Figura 17 Gráfico de controle para o manganês.....	35
Figura 18 Gráfico de controle para o pH.....	36
Figura 19 Gráfico de controle para o potássio	36
Figura 20 Gráfico de controle para o zinco	37
Figura 21 Gráfico de controle para a troca catiônica.....	37
Figura 22 Gráfico de controle para a relação cálcio magnésio	38
Figura 23 Gráfico de controle para o grau de compactação	38
Figura 24 Ajuste dos dados da primeira amostra.....	39
Figura 25 Ajuste dos dados da segunda amostra.....	40
Figura 26 Ajuste dos dados da terceira amostra.....	40
Figura 27 Ajuste dos dados da primeira amostra.....	42
Figura 28 Ajuste dos dados da segunda amostra.....	43
Figura 29 Ajuste dos dados da terceira amostra.....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivos gerais	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Classificação do solo	Erro! Indicador não definido.
3.2	Principais solos no Paraná	14
3.2.1	Nitossolo	14
3.3	Índices físicos de qualidade	14
3.3.1	Grau de compactação	14
3.3.2	Intervalo hídrico ótimo	16
3.3.3	Energia integral	19
3.3.4	Índice S	20
3.4	Variabilidade temporal no solo	22
3.5	Manejo do solo na viticultura	24
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1	Área estudada	25
4.2	Controle estatístico de processo	26
4.2.1	Teste de normalidade	28
4.2.2	Gráfico de controle de Shewhart para medidas individuais	29
4.2.3	Capacidade de processo	Erro! Indicador não definido.
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1	Gráficos de controle para atributos químicos.....	31
5.2	Gráficos de controle para as propriedades físicas	38
5.3	Curva de retenção de água no solo.....	38
5.4	Índice S para as amostras.....	40
5.5	Energia integral para as amostras.....	41
6	CONCLUSÕES	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Em propriedades familiares do Oeste do Paraná é comum encontrar parreirais como forma de diversificação de renda. Geralmente, o manejo do solo em relação à condição física é negligenciado devido ao preço de maquinários próprios para a cultura. Faz-se o plantio de uma cobertura vegetal viva para proteger o solo do impacto da chuva, a fim de se evitar a erosão hídrica.

O gerenciamento de manutenção e melhoria das propriedades do solo é um dever do proprietário da terra. Para tal, o ciclo de melhoria contínuo deve ser aplicado à agricultura. Devem ser definidas metas de produtividade e aplicadas metodologias de melhoramento contínuo.

Enquanto o proprietário da lavoura visa maximizar o lucro, os consumidores querem bons frutos a preços acessíveis. E a sociedade ~~almeja~~ que a produção seja sustentável, porém, todos estes anseios só podem ser atingidos se o solo não estiver degradado.

Os engenheiros atuam neste processo quando adicionam conhecimentos de gerenciamento e informações técnicas ao agricultor a respeito dos parâmetros físico-químicos, para que sejam tomadas as ações preventivas e corretivas.

O índice S é um parâmetro físico, e é a tangente da curva de retenção de água. O mesmo está relacionado à microestrutura do solo. O grau de compactação é uma medida da compactação do solo e pode ser usado para comparar solos com mineralogias diferentes. Além desses, há a concentração de vários elementos químicos como: fósforo, potássio e carbono total, os quais foram medidos para avaliar o comportamento de cada um deles ao longo do tempo.

Para entender como tais atributos se comportam ao longo do tempo foram criados gráficos de controle para essas medições. Assim, o produtor rural pode mudar o manejo a tempo de melhorar sua produtividade. Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar índices de qualidade física do solo assim como acompanhar a concentração de alguns elementos químicos importantes, a fim de auxiliar o produtor rural na periodicidade de coleta das amostras de solo, antes que o crescimento seja afetado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Determinar se os índices de qualidade de um Nitossolo sob viticultura irrigada se mantêm ao longo do tempo e avaliar características físicas e químicas do solo.

2.2 Objetivos específicos

Determinar o índice S e a curva de energia integral para o solo estudado. Analisar se os parâmetros químicos do solo estão sob controle estatístico de processo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Principais solos no Paraná

De acordo com Bhering (2008), os principais tipos de solo encontrados no Paraná são: Latossolo (30,76%), Neossolo (22,22%), Argissolo (15,53%), Nitossolo (15,18%) e Cambissolo (10,63%).

3.2.1 Nitossolo

Como o solo da região em estudo é caracterizado como Nitossolo, serão descritas algumas características do mesmo para melhorar o entendimento da qualidade inerente à composição físico-química.

Segundo Embrapa (2009), os Nitossolos compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B nítico, textura argilosa ou muito argilosa (teores de argila maiores que 350 g kg^{-1} de solo a partir do horizonte. A estrutura em blocos subangulares ou angulares ou prismática, de grau moderado ou forte, com serosidade expressiva nas superfícies dos agregados ou caráter retrátil.

3.3 Índices físicos de qualidade do solo

3.3.1 Grau de compactação do solo

O grau de compactação é definido como a razão (%) entre densidade do solo seco e a densidade do solo seco quando compactado em um estado de referência, conforme Equação 1.

$$D = \frac{\rho_b}{\rho_{bs}} \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

ρ_b - densidade do solo;

ρ_{bs} - densidade do solo compactado em um estado de referência.

O estado de referência é determinado com o teste de compressão uniaxial drenado. Uma amostra de solo úmido é colocada em um edômetro e comprimida com pressão de 200 kPa até que a drenagem cesse Håkansson (1990). O teste modificado de Proctor também pode ser utilizado, como promove uma compactação mais intensa, e o resultado da densidade é de 7-17% maior do que o teste no edômetro. O croqui do equipamento utilizado é mostrado na Figura 1.

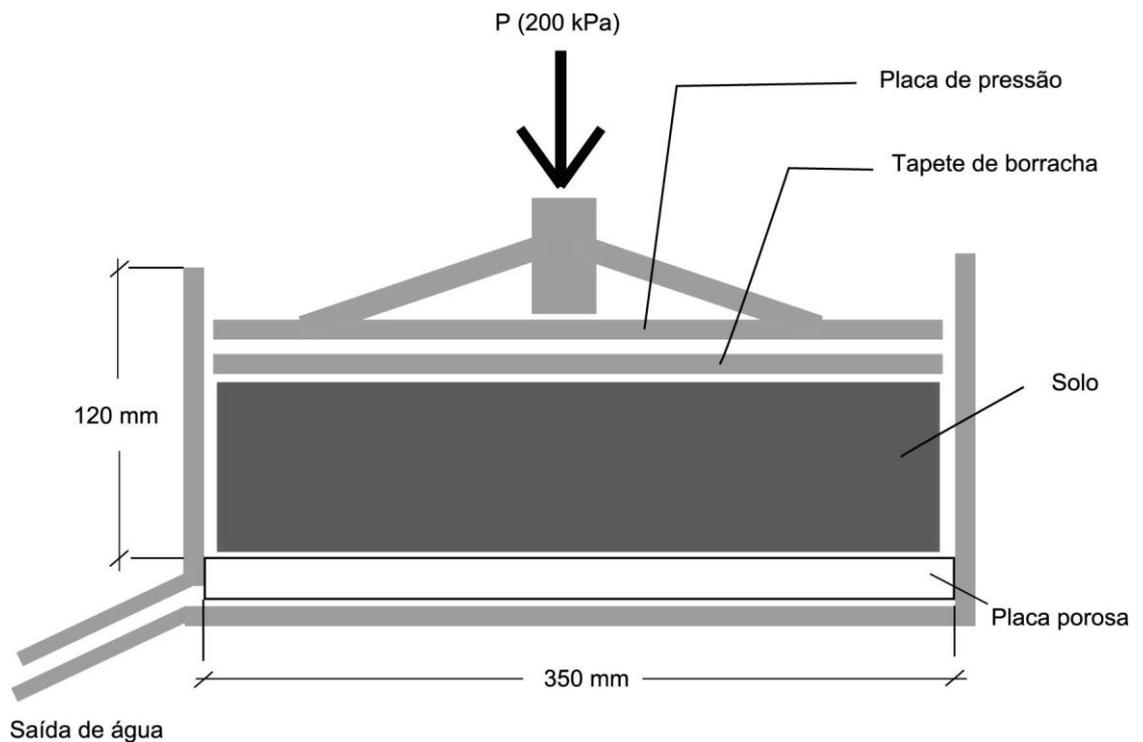


Figura 1 Croqui do equipamento utilizado

Em vários solos minerais, obtêm-se os maiores valores de produção com os mesmos graus de compactação, independentemente do tipo de solo, considerados como a principal vantagem do método. Os resultados experimentais de Håkansson (1990) demonstram que a produtividade máxima da cevada ocorre com grau de compactação igual a 87 em todos os tipos de solos minerais da Suécia.

No Brasil, Suzuki et al. (2007) concluíram que o grau ótimo de compactação para a soja em um Latossolo é igual a 86 e a densidade de referência é obtida com carga de 1600 kPa. A comparação entre diferentes solos é facilitada quando a densidade do solo (ou porosidade) é relacionada com a densidade do solo em um estado de referência.

Os índices de qualidade física do solo relacionam-se e é possível compará-los

como fizeram Júnior et al. (2012), os quais analisaram o grau de compactação e o intervalo hídrico ótimo (IHO), em solo há 30 anos sob plantio direto. Verificou-se que os limites de resistência à penetração poderiam ser aumentados para valores maiores que 2 Mpa com o IHO, sem prejuízo para o crescimento vegetal.

Segundo Reichert et al. (2009), utilizar o teste de compressão uniaxial com carga de 200 kPa em amostras deformadas ou indeformadas para a densidade de referência gera valores altos de grau de compactação, em alguns casos, maiores que 100%. O teste padrão de Proctor gera valores maiores de densidade de referência, os quais são semelhantes ao teste uniaxial com carga de 1600 kPa para solos com baixo teor de argila, porém maiores para solos com alto teor de argila.

3.3.2 Intervalo hídrico ótimo

O intervalo hídrico ótimo (IHO) foi conceituado pela primeira vez por da Silva et al. (1994). É um parâmetro que relaciona o suprimento de água, oxigênio, impedimento mecânico e densidade; além de ser o intervalo de conteúdo de água no solo em que são mínimas as limitações para o crescimento das plantas associadas à pressão matricial, aeração e resistência mecânica. Determina-se o conteúdo de água de acordo com a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, considerando as sucções de 0,01 MPa e 1,5 Mpa, respectivamente. Os outros limites físicos são: porosidade de aeração de 10% e resistência à penetração de 2 MPa. O IHO, então, é calculado para cada densidade do solo.

Com base no IHO, Tormena et al. (1999) conceituaram o intervalo ótimo do potencial de água no solo (IOP) que incorpora os potenciais da água do solo, associados à água disponível e também os potenciais nos quais há limitação para o crescimento das plantas, associada à resistência à penetração e à aeração do solo. Os autores concluíram que o IOP apresentou relação inversa à densidade do solo, assumindo valores entre 0 e 1,49 MPa, para uma correspondente variação de densidade entre 1,32 e 0,95 Mg m⁻³. Em função da variabilidade da estrutura do solo, o manejo da água em agricultura irrigada, para fins de produção ótima das culturas, deve levar em conta não apenas os limites convencionais da faixa de disponibilidade de água, mas também os outros fatores incorporados ao IOP.

Tormena et al. (2004) concluíram que não é necessária a escarificação em Latossolo vermelho distroférico sob plantio direto, pois resultou em aumento do IOP na faixa de 0,0-0,15 m e na diminuição do IOP na faixa de 0,15-0,30 m.

Segundo Benjamin et al. (2003), o IHO é um indicador pobre de produtividade quando a baixa disponibilidade de água total limita a expressão de estado do solo. E considera-se como

bom indicador de produtividade o indicador IHO que pode manter o solo com o potencial total de água disponível. Além disso, mesmo em duas parcelas diferentes que possuíam o mesmo IHO e ficaram em estados semelhantes quanto ao estresse hídrico, essas tiveram produtividades diferentes (2700 e 11700 kg ha⁻¹).

A fim de melhorar a correlação entre produtividade e IHO, Benjamin et al. (2003) propuseram o índice chamado Dia de Estresse Hídrico (DEH), que mede a quantidade de estresse hídrico a que a planta está sujeita durante o período e calculado com a Equação 2:

$$DEH = \sum_{i=1}^n (\theta_d - \theta_{li}) \times 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

θ_d - conteúdo diário de água no solo;

θ_{li} - limite inferior do IHO quando $\theta_d < \theta_{li}$.

De outra forma $DEH = 0$. Ao se usar tal metodologia, foi alcançado um $R^2 = 0,6$ entre a produtividade e o índice. Lapen et al. (2004) aplicaram uma árvore de regressão para verificar quais parâmetros dentro do IHO se relacionavam melhor com a produtividade. Os autores constataram que o indicador mais importante dentro do IHO foi a diferença acumulada da porosidade de aeração média e seu valor limite; para os estágios de crescimento do milho R1 (embonecamento) até R6 (maturidade fisiológica). Tal indicador explicou melhor a variabilidade na produção e no estabelecimento das plantas.

Verificou-se também que o limite de aeração de 0,1 m³m⁻³ está associado à concentração de 0,02 kg O₂ m⁻³, o qual é um critério consistente de engenharia e um limite prático para a saturação. Mostra-se a partir desses estudos que o IHO só prediz com clareza a produção se forem avaliados seus parâmetros diariamente, os quais devem ser confrontados com os próprios valores-limite.

Segundo da Silva e Kay (2004), a análise de capacidade de processo une-se à variabilidade temporal do conteúdo de água no solo com o IHO, na cultura do milho. Os pesquisadores concluíram que o parâmetro da capacidade de processo, razão unilateral da capacidade de processo (RCP_k), foi capaz de identificar mudanças na qualidade física do solo para o crescimento da cultura no campo. E o RCP_k se relacionou com o conteúdo de argila e matéria orgânica assim como com o crescimento da parte aérea da planta.

Lima et al. (2009) avaliaram três tipos de solo (Latosolo Vermelho distrófico típico, Argissolo Vermelho eutrófico típico e Cambissolo Háplico distrófico típico) e dois tipos

de manejo (pastagem e cafeicultura). Chegaram à conclusão que os maiores valores de IHO ocorreram no Latossolo em áreas cultivadas com café. Ademais, o IHO é sensível às alterações causadas pelos diferentes tipos de manejo.

O IHO é visualizado no gráfico da Figura 2 e representado como a junção das linhas da umidade volumétrica na capacidade de campo (a), da umidade volumétrica onde a porosidade de aeração é menor que 10%; da umidade volumétrica, onde a resistência à penetração é maior que 2,5 MPa e pela umidade volumétrica, onde ocorre o ponto de murcha permanente.

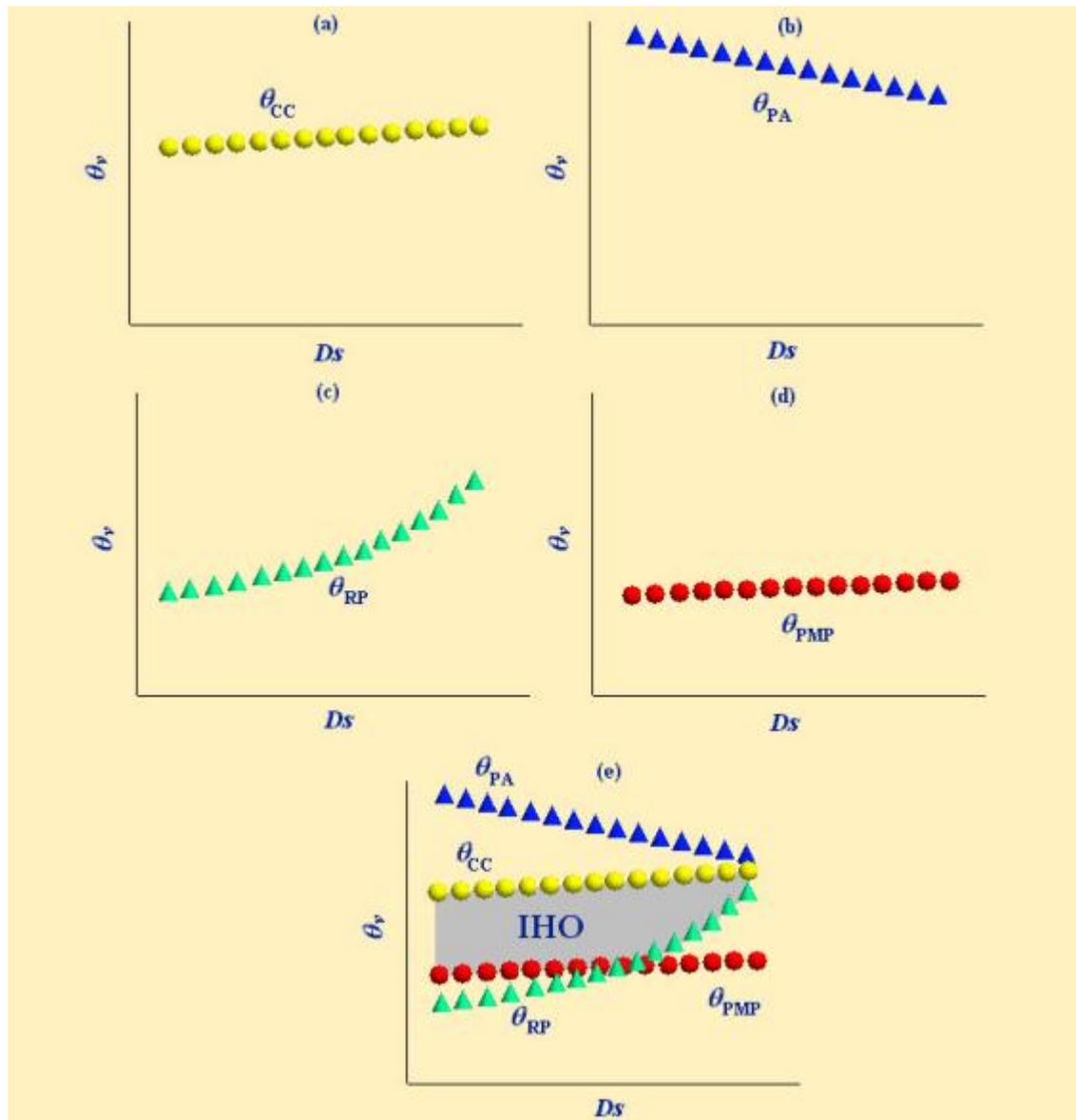


Figura 2 Representação de IHO.
Fonte: Leão, 2002.

3.3.3 Energia integral

É a quantidade de energia requerida (J kg^{-1}) pela planta para remover água de um conteúdo volumétrico inicial de água ψ_i para ψ_f (onde $\psi_i > \psi_f$), a qual pode ser calculada ao se integrar a curva $\psi(\theta)$ Minasny e McBratney (2003), chamada de energia integral, conforme Equação 3:

$$EI = \left[\frac{1}{\psi_i - \psi_f} \right] \int_{\psi_f}^{\psi_i} \theta \psi \, d\psi \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

E_i – é a função com todos os valores de ψ em todo o domínio de θ . E, ao se relacionar este método com a equação de van Genuchten (1980), obtém-se a seguinte expressão analítica, conforme Equação 4:

$$E_i = \left(\frac{Se \left(-1 + Se^{1 - \frac{1}{n}} \right)^{\frac{1}{n}}}{\alpha \left(-1 + Se^{1 - \frac{1}{n}} \right)^{\frac{1}{n}}} \right) \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

Se - saturação efetiva;

θ_r - conteúdo de água residual;

θ_s - conteúdo de água na saturação.

Os resultados para os diferentes tipos de solo estão apresentados na Figura 3.

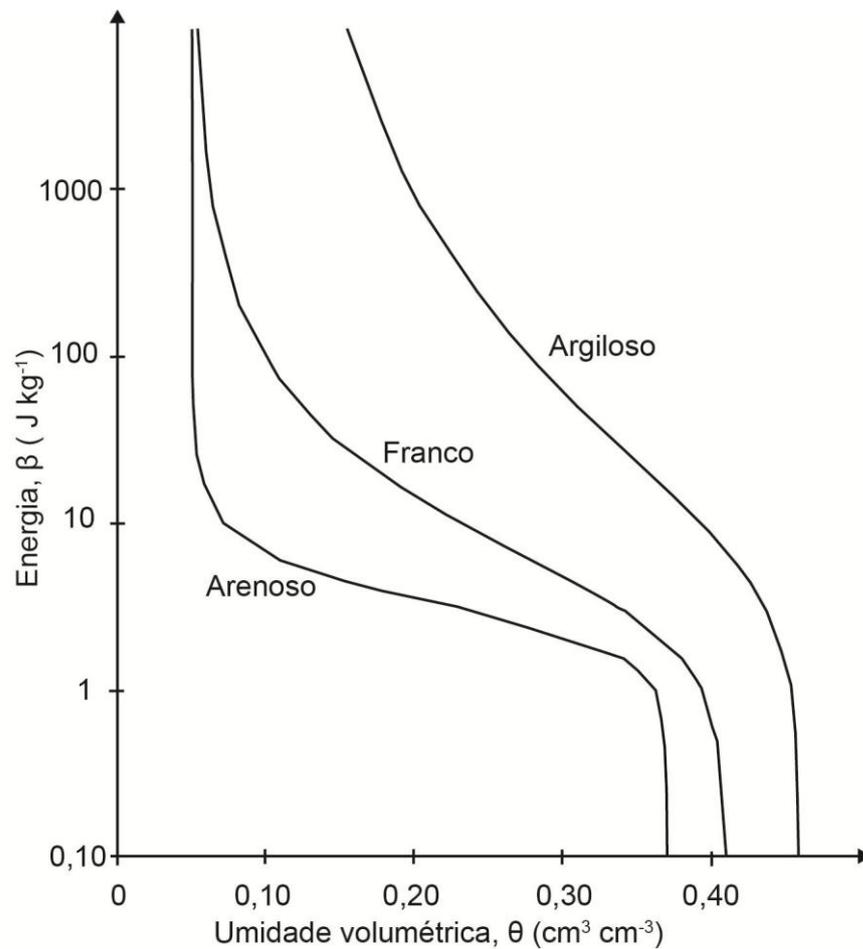


Figura 3 Curvas de energia integral para diferentes tipos de solo

3.3.4 Índice S

Dexter (2004) propôs um índice denominado S para quantificar a qualidade física do solo a partir da curva de retenção de água, que ainda necessita de algumas avaliações de interação com o manejo do solo, principalmente em regiões tropicais.

No cálculo do índice S, determina-se a inclinação da tangente à curva de retenção de água no seu ponto de inflexão. O ponto de inflexão é onde a curvatura é igual a zero, ou seja, quando a curvatura muda de convexa para côncava. Assim, a inclinação da curva no ponto de inflexão é determinada de acordo com a Equação 5 :

$$S = \tan \omega \quad \text{Eq. (5)}$$

O índice S também pode ser calculado a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten, conforme mostrado pela Equação 6 :

$$S = -n (u_r - u_s) \left(1 - \frac{1}{m}\right)^{-(1+m)} \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

u_r - umidade gravimétrica residual, $g\ g^{-1}$;

u_s - umidade gravimétrica de saturação, $g\ g^{-1}$.

Na Figura 3 estão apresentadas as curvas de retenção de dois solos franco-argilo-arenosos iguais. De acordo com Dexter (2004), quando o solo está degradado, a inclinação da curva de retenção no ponto de inflexão torna-se menor.

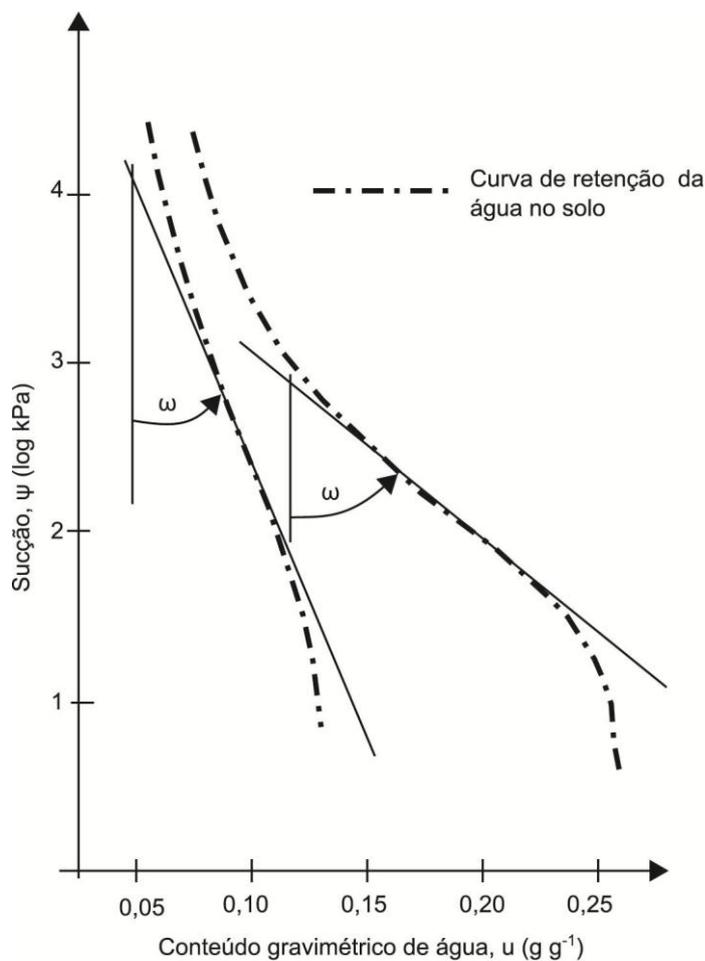


Figura 4 Degradação do solo.

Fonte: Dexter (2004)

Alguns solos apresentam a característica de endurecer quando passam pelo processo de secagem. As pontes capilares que se formam mantêm-se após o solo secar, pois empurram as partículas umas contra as outras, assim, causam o endurecimento do solo quando o mesmo perde água.

Dexter (2004) criou uma forma de calcular um índice para esta propriedade de endurecimento, H. Este índice é baseado na taxa de aumento de endurecimento efetivo

por conteúdo de água volumétrico, no ponto de inflexão. Assume-se que um solo que exibe grau de endurecimento maior no conteúdo de água θ_i também terá uma coesividade maior em outros conteúdos de água. H é calculado com a Equação 7:

$$H = \left(\frac{h_i}{\theta_{sat}} \right) \left(1 + \frac{\theta_i}{s} \right) \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde:

H: índice de coesividade (kPa g^{-1});

h_i : sucção no ponto de inflexão (kPa);

θ_i : umidade no ponto de inflexão (g g^{-1});

θ_{sat} : umidade no ponto de saturação (g g^{-1}).

3.4 Variabilidade temporal no solo

As propriedades hidráulicas do solo têm numerosas fontes de variabilidade relacionadas aos processos espaciais, temporais e de manejo. Es et al. (1999) conduziram um experimento de campo por três anos em solos franco-argilosos, franco-arenosos e franco-siltosos, em parcelas cultivadas com revolvimento e sob plantio direto. A infiltrabilidade foi determinada a partir de 2054 medições usando permeâmetros. Enquanto os coeficientes a e b da curva de condutividade hidráulica de Campbell foram determinados com base nos dados de retenção de água de 875 amostras. A análise dos componentes de variância mostrou que as diferenças entre os locais foram as mais importantes fontes de variabilidade para os coeficientes a ($\text{CV}=44\%$) e b ($\text{CV}=23\%$). Logo, as práticas de manejo são a mais importante fonte de variação para a infiltrabilidade ($\text{CV}=10\%$).

Para Es et al. (1999), a variabilidade temporal foi mais significativa do que a variabilidade espacial. Efeitos temporais e preparo foram mais significativos para os solos de textura média e de textura fina, e correlacionados às condições iniciais de água no solo. Portanto, os autores concluíram que as parametrizações das propriedades hidráulicas do solo, baseadas somente no tipo de solo, podem não ser apropriadas para os solos agrícolas, uma vez que fatores de manejo do solo são mais significativos. Para a propriedade infiltrabilidade, fatores temporais também precisam ser reconhecidos. A amostragem deve levar em conta o manejo do solo e a mudança temporal dos processos como fonte significativa de variação para que se evitem resultados tendenciosos.

Bamberg et al. (2011) mostraram em seu trabalho que, mesmo em intervalos curtos de tempo, as propriedades do solo estão sujeitas a variações. F o r a m

avaliadas as alterações temporais em propriedades físicas do solo em campos de morango cultivado sob fertirrigação por gotejamento em Turuçu, Rio Grande do Sul. Amostras indeformadas foram coletadas na camada superficial do solo perto da superfície do solo para determinar porosidade total, macroporosidade, porosidade matricial, densidade do solo, conteúdo de água disponível, capacidade de campo, ponto de murcha e índice S.

Ainda segundo Bamberg et al. (2011), tanto a quantidade de agregados relativamente grandes (9,51-2,00 mm) como a capacidade de retenção de água aumentaram no final do ciclo de cultivo de morango. Haja vista as mudanças na estrutura do solo melhorarem a qualidade física do solo, o desenvolvimento de morango foi beneficiado. Mostrou-se então que se os agricultores aumentarem gradualmente a quantidade de água via irrigação para um valor máximo que ocorre no final do ciclo, a eficiência no uso de energia e água iria aumentar.

A fim de se identificar a variabilidade temporal das propriedades hidráulicas do solo sob campo de aplicação de água de alta frequência durante a época de colheita do milho, Mubarak et al. (2009) mediram as propriedades, de acordo com o método de infiltração de Beerkan. Sete conjuntos de medições de infiltração foram realizados para cada tratamento de irrigação durante a época de colheita, entre junho e setembro de 2007. O primeiro conjunto foi medido duas semanas antes do primeiro evento de irrigação. Os resultados demonstraram que tanto a porosidade e propriedades hidráulicas mudaram ao longo do tempo.

Os resultados de Mubarak et al. (2009) mostraram que houve diferenças marcantes na largura e profundidade estimada do bulbo molhado quando foram utilizados os parâmetros de entrada do modelo medido antes e depois da irrigação. Com o aumento da variável tempo ocorreu aumento do comprimento capilar e tal fato acarretou em um bulbo molhado mais horizontalmente alongado. Isso pode melhorar a irrigação e fertilização da zona da raiz e reduzir as perdas devido à percolação profunda. Como resultado prático deste estudo, a fim de mitigar os riscos agroambientais, recomenda-se a aplicação de fertilizantes após a reestruturação do solo cultivado.

Ciclos de umedecimento e secagem podem influenciar substancialmente a estrutura e os processos relacionados com as propriedades do solo. A maioria dos estudos são baseados em ciclos controlados sob condições de laboratório. Bodner et al. (2013) estudaram os ciclos de secagem no campo a partir da medição do conteúdo de água e a análise da sua relação com a variação temporal na distribuição do tamanho dos poros. Parâmetros do modelo de propriedade hidráulica de Kosugi foram obtidos a partir de otimização inversa com medições por infiltrômetro de tensão. A análise espectral de séries temporais foi utilizada para calcular a intensidade do ciclo, o número e a duração do teor de água.

De acordo com Bodner et al. (2013), a observação dinâmica do sistema água-solo foi substancialmente melhor em relação aos valores calculados quando comparada a uma representação estática com parâmetros hidráulicos médios. O estudo mostrou que a análise espectral é uma abordagem adequada para a quantificação de campo padrão para o ciclo de secagem. Ademais, a intensidade do ciclo é um fator-chave para a dinâmica temporal da distribuição do tamanho dos poros do solo.

3.5 Manejo do solo na viticultura

O manejo do solo é fundamental para que não ocorra a degradação de sua estrutura. Assim, tanto o plantio de coberturas vegetais como o plantio direto aumentam a quantidade de carbono e melhoraram a capacidade de formar agregados estáveis (SÁ et al., 2013).

Wheaton et al. (2008) concluíram que o plantio de azevém (*Lolium multiflorum*) no inverno junto com a aplicação de 12 t ha^{-1} de gesso aumentou tanto a macroporosidade como a concentração de raízes em profundidade e diminuiu a densidade do solo.

Wutke et al. (2005) concluíram que a cobertura morta de capim nas ruas do parreiral pode ser substituída pelo cultivo de plantas para cobertura verde no outono-inverno, como aveia-preta (*Avena strigosa*), chícharo (*Lathyrus sativus*) ou tremoço (*Lupinus albus*), seguidos de mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*), na primavera-verão, sem alteração prejudicial em relevantes características comerciais de qualidade dos frutos de videira 'Niagara Rosada' (*Vitis labrusca*), como tamanho e dimensões do cacho e das bagas.

4.1 Área estudada

O trabalho foi realizado no município de Salto do Lontra, o qual possui as seguintes coordenadas: 25° 47' 02" de latitude S e 53° 18' 32" de longitude O, com altitude média de 450 metros e clima subtropical (Cfa), temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. Na Figura 5 observa-se a localização do experimento e na Figura 6 pode-se visualizar a foto do local.

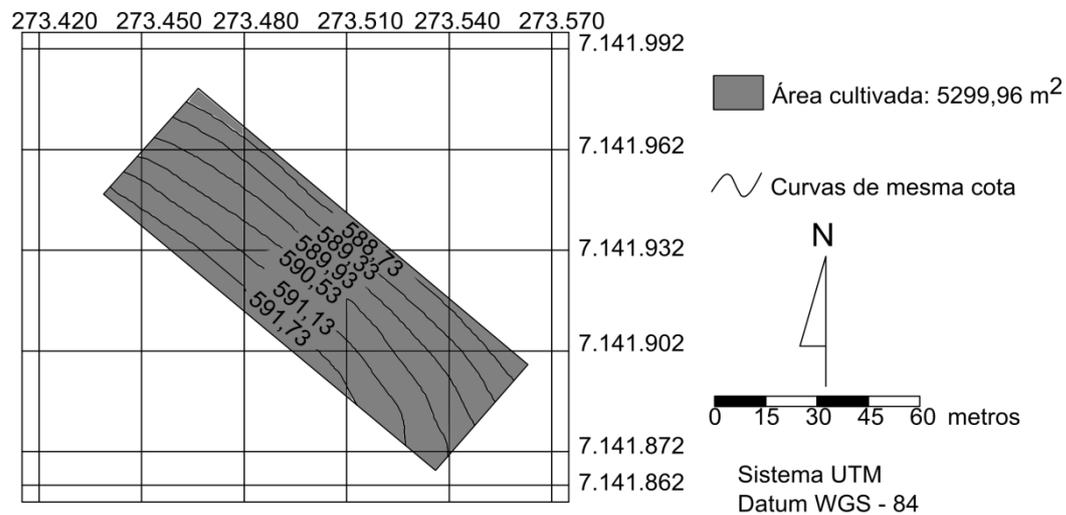


Figura 5 Coordenadas da área experimental



Figura 6 Foto da área experimental

4.2 Controle estatístico de processo

O controle estatístico de processo (CEP) é um conjunto de ferramentas que podem ser aplicadas a qualquer processo. As ferramentas mais importantes do CEP, de acordo com Montgomery (2009), são:

- Histograma;
- Gráfico de Pareto;
- Diagrama de causa e efeito;
- Diagrama de concentração de defeito;
- Gráfico de controle;
- Diagrama de dispersão;
- Folha de verificação.

Em qualquer processo, sempre existirá certa quantidade de variabilidade inerente ou natural. Essa variabilidade natural ou 'ruído de fundo' é o efeito cumulativo de um conjunto de pequenas causas, essencialmente inevitáveis, conhecidas como causas casuais.

Um processo que opere somente com causas causais é dito estar sob controle estatístico. Outras fontes de variabilidade que não são parte das causas casuais são

chamadas de causas atribuídas. Um processo que opere na presença de causas atribuídas é dito estar fora de controle (MONTGOMERY, 2009). O objetivo final do controle estatístico de processo é eliminar completamente a variabilidade, embora não possa ser possível ajudar a reduzi-la tanto quanto possível. O modelo geral para o gráfico de controle é determinado com as Equações 7, 8 e 9:

$$LSC = \mu + L \sigma \quad \text{Eq. (7)}$$

$$\text{Linha central} = \mu \quad \text{Eq. (8)}$$

$$LIC = \mu - L \sigma \quad \text{Eq. (9)}$$

Pierce e Gilliland (1997) aplicaram o controle estatístico de processo ao solo e definiram a qualidade do solo como Q, e seus conjuntos de atributos como q_i. É desejável definir precisamente Q, para que a qualidade de dois ou mais solos possa ser comparada. Se Q é quantificável, a mudança de Q no tempo é uma mudança na qualidade do solo em resposta ao seu manejo. O Q, porém, não pode ser precisamente estimado, mas um subconjunto de dados q_{is} pode ser usado para estimar Q, chamado de Q'. Se os q_{is} forem características-chave da qualidade do solo e a qualidade do solo for definida como adequação ao uso, o CEP pode ser usado no controle de qualidade do solo.

Existem duas aplicações para o CEP na qualidade do solo: uma é seu uso em programas de monitoramento de um conjunto de atributos que são colocados no gráfico ao longo do tempo. Os limites de controle devem ser baseados na literatura. A outra é o domínio do controle dos processos que afetam a qualidade, chamada de engenharia de controle. Antes de focar no monitoramento do processo, é necessário saber se ele consegue produzir o resultado desejado. Se o manejo não for o correto, o resultado desejado jamais será alcançado.

Reis et al. (2011) estudaram o comportamento da qualidade da água em 40 propriedades familiares no município de Salto do Lontra. Foram utilizadas cartas de controle para avaliar a variação de parâmetros físico-químicos, como: pH, condutividade elétrica e sódio. Tais autores concluíram que apesar de existirem fatores fora de controle estatístico, não existe nenhum que seja restritivo para irrigação. Recomenda-se que esta avaliação deve ser periódica para que não ocorram prejuízos na produtividade.

Hermes et al. (2013) mediram os valores dos índices de uniformidade de um sistema de gotejamento. A irrigação foi feita com resíduos do processamento de mandioca e os autores concluíram que os índices de uniformidade foram excelentes e se mantiveram ao longo da irrigação. O controle estatístico de processo se mostrou aplicável para avaliar a manutenção destes indicadores ao longo dos turnos de irrigação.

Frigo et al. (2013) realizaram experimentos na cidade de Palotina no Paraná, durante os meses de setembro a julho. Utilizaram o gráfico de controle para comprovar que a irrigação noturna é melhor, pois os índices de uniformidade se mantiveram sobre controle estatístico naquele período.

Juchen et al. (2013) calcularam o controle e a capacidade de processos de irrigação, os quais foram realizados com quatro tratamentos: controle sem adição de nitrogênio, com adição de nitrogênio, efluente de laticínios, efluente de processamento de carne. Eles chegaram à conclusão de que a produção nos tratamentos fertirrigados foram estatisticamente iguais entre si. E que os tratamentos fertirrigados estavam sobre controle e eram processos capazes.

Justi et al. (2010) calcularam o índice de uniformidade de Christiansen e de capacidade de processo. Concluíram que o índice de capacidade de processo é diretamente relacionado com o índice de uniformidade da irrigação, cujo coeficiente de determinação está entre os dois índices de 78%. Os autores também mostraram que o índice de capacidade de processo é capaz de identificar se a irrigação pode se manter sob controle e constante.

Orssatto et al. (2009) mediram a variação de demanda química e biológica de oxigênio que ocorre em uma estação de tratamento de água, no município de Cascavel no Paraná. Concluíram que o processo de tratamento não atende à legislação, pois apresenta incapacidade de manter os níveis necessários.

Soncela et al. (2011) construíram sondas de TDR com materiais nacionais, as quais foram manualmente confeccionadas. Utilizaram o controle estatístico de processo para escolher quais eram mais confiáveis no processo de medição da umidade do solo.

Milan e Fernandes (2002) aplicaram o controle estatístico de processo na avaliação do preparo do solo na sua escarificação. A introdução da regulação e o controle operacional ocasionaram aumento de 34% para 55% de dados dentro dos limites de especificação desejados, embora sem diferença estatística entre as médias para a situação sem e com controle.

4.2.1 Teste de normalidade

O teste de Shapiro e Wilk (1965) testa a hipótese nula em que uma amostra x_1, \dots, x_n vem de uma população normalmente distribuída. O teste estatístico é definido como:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Eq. (10)}$$

onde:

– $X(i)$: é o i ésimo dado em ordem, por exemplo, o i ésimo menor número da amostra x : média simples;

as constantes a_i são dadas por:

$$(a_i, \dots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}} \quad \text{Eq. (11)}$$

Onde:

$$m = (m_1, \dots, m_n) ,$$

e m_1, \dots, m_n são os valores esperados dos dados ordenados de variáveis independentes e identicamente distribuídas retiradas da distribuição normal, enquanto V é a matriz de covariância desses dados ordenados. Pode-se rejeitar a hipótese nula se W for muito pequeno.

4.2.2 Gráfico de controle de Shewhart para medidas individuais

Nas situações onde a amostra é unitária, utiliza-se o gráfico de controle para medidas individuais. O gráfico para observações individuais é interpretado como o gráfico de controle \bar{x} normal. Um valor muito afastado da média resultará em pontos fora dos limites de controle ou uma sequência de valores acima ou abaixo da média. Na Figura 7 é mostrado um processo com pontos fora dos limites de controle.

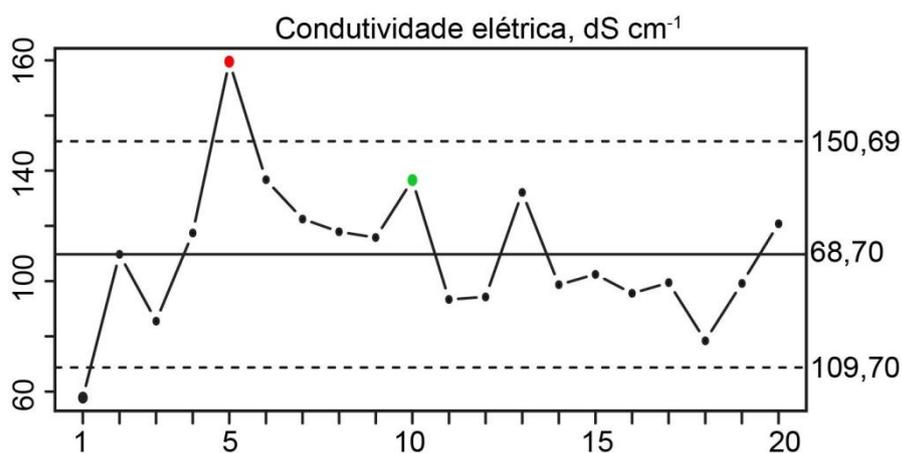


Figura 7 Exemplo de processo fora de controle

4.3 Coleta e análise físico-química das amostras

As amostras de solo foram coletadas no período de junho a novembro de 2013. Foram coletadas 04 amostras por mês, totalizando 20 amostras. Essas foram analisadas em relação aos parâmetros químicos com os seguintes métodos:

- pH: CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹;
- H + Al: pH SMP;
- Fósforo: Mehlich 1 (espectrofotometria);
- Potássio, Cobre, Zinco, Ferro e Manganês: Mehlich 1 (emissão/absorção atômica);
- Carbono: Colorimetria (EMBRAPA, 2009);

- Cálcio e Magnésio: KCl 1,0 mol L⁻¹ (absorção atômica);
- Alumínio: KCl 1,0 mol L⁻¹ (titulometria);
- Física (granulometria): método da pipeta.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo é classificado como muito fino, conforme mostra a Figura 8, a qual foi obtida com o pacote SOIL-TEXTURE Moeis (2012).

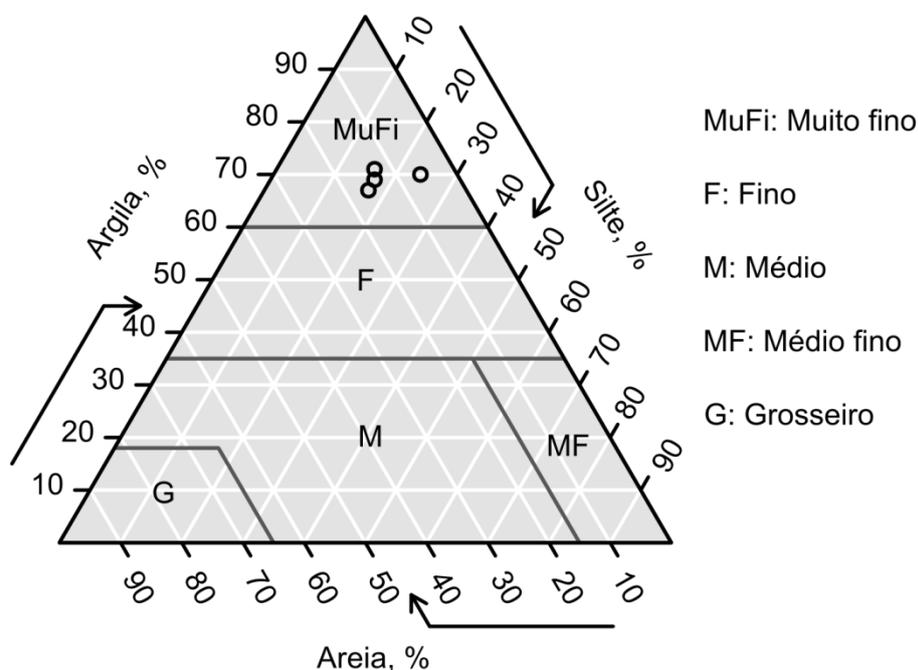


Figura 8 Granulometria do local em estudo.

5.1 Gráficos de controle para atributos químicos

No programa R, R CORE TEAM (2014), o p-valor mostra a chance que a amostra tem de vir de uma distribuição normal. Quanto menor o valor, menor a chance. Estatísticos normalmente usam o valor de 0,05, ou seja, quando o p-valor é menor que 0,05, pode-se concluir que a amostra desvia da normalidade.

Segundo Montgomery (2009), se o processo em estudo desvia-se moderadamente da normalidade, os limites de controle podem ser totalmente inapropriados.

Aplicou-se o teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965) aos dados, cujo resultado para a saturação de alumínio apresentou o valor de $W = 0,82$ e $p\text{-valor} = 0,002$. Ou seja, os dados não seguem uma distribuição normal. No entanto, os dados foram transformados ao se aplicar a função raiz quadrada. O resultado para os dados transformados é $W = 0,91$, com $p\text{-valor} = 0,06$.

Fráguas (1999) utilizou porta-enxertos e duas variedades de videira americana (*Vitis Vinifera*) foram testadas em relação a vários níveis de saturação do Al. Esses variaram de 0 a 70% aproximadamente com redução em variáveis fisiológicas como peso

da matéria seca e altura. O alumínio tem um efeito tóxico para as raízes das plantas por isso pode diminuir a absorção de P, Ca, Mg e K. Concluiu-se que o teor de K não foi afetado pelos maiores níveis de saturação. Os teores de Ca e Mg foram os mais afetados e o teor de P ficou estável em relação aos diferentes níveis de saturação de Al.

Portanto, tal parâmetro deve ser acompanhado pelo produtor com cuidado. O resultado das análises mostra que os níveis de saturação permaneceram sob controle estatístico de processo. As concentrações foram praticamente nulas e pouco afetaram o desenvolvimento da videira.

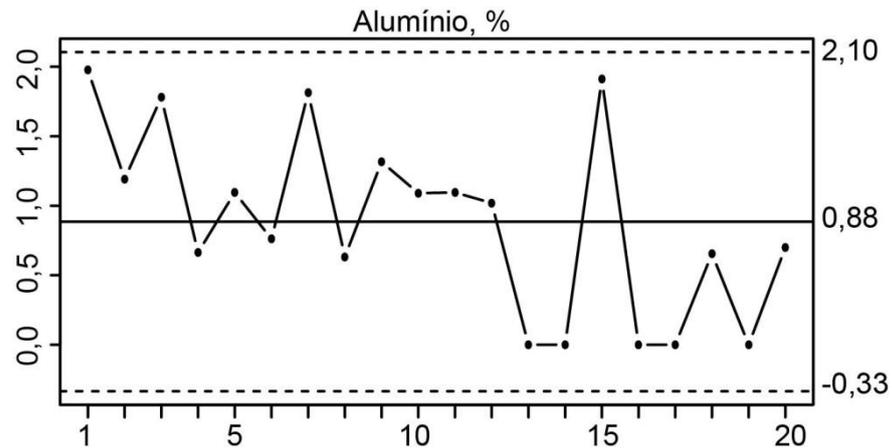


Figura 9 Gráfico da saturação de alumínio

O resultado para a saturação de bases apresentou valor de $W = 0,97$ e p-valor igual a 0,85. Ou seja, os dados seguem uma distribuição normal.

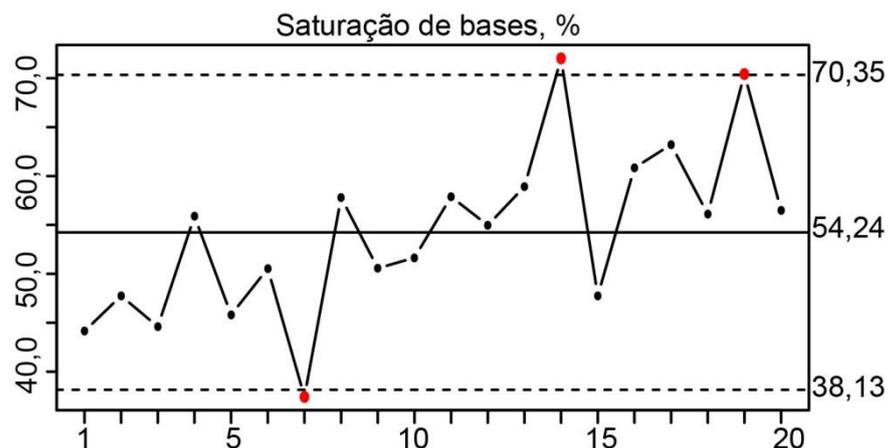


Figura 10 Gráfico da saturação de bases

O resultado para o cálcio apresentou valor de $W = 0,96$ e p-valor = 0,69. Ou seja, os dados seguem uma distribuição normal.

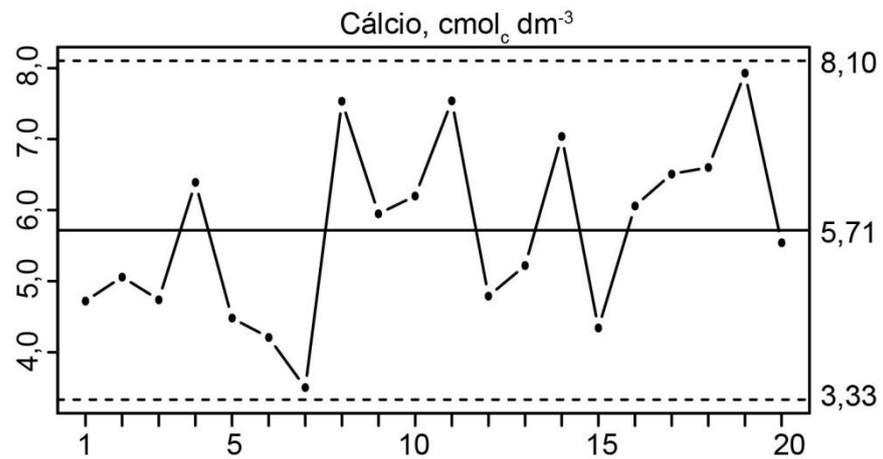


Figura 11 Gráfico de controle do cálcio

O resultado para o carbono total apresentou valor de $W = 0,96$ e $p\text{-valor} = 0,56$.

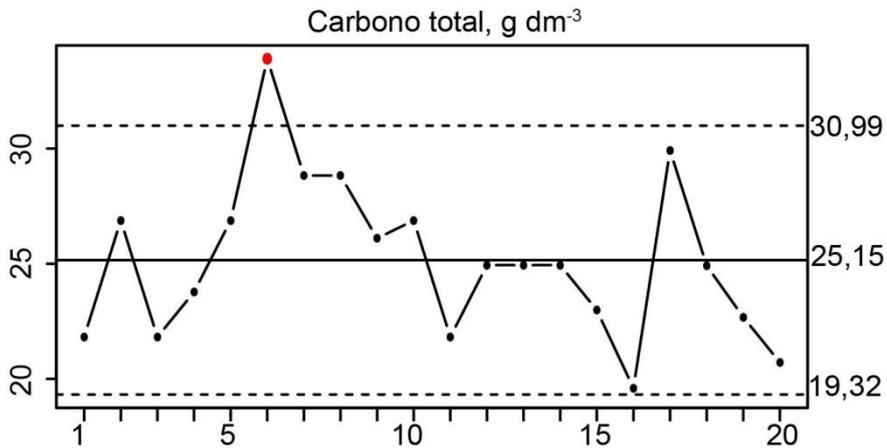


Figura 12 Gráfico de controle para o carbono total

O resultado para o cobre apresentou valor de $W = 0,86$ e $p\text{-valor} = 0,009$. Como os dados não seguem uma distribuição normal, foram transformados quando aplicou-se a função raiz quadrada. O resultado para os dados transformados é $W = 0,92$, $p\text{-valor} = 0,10$.

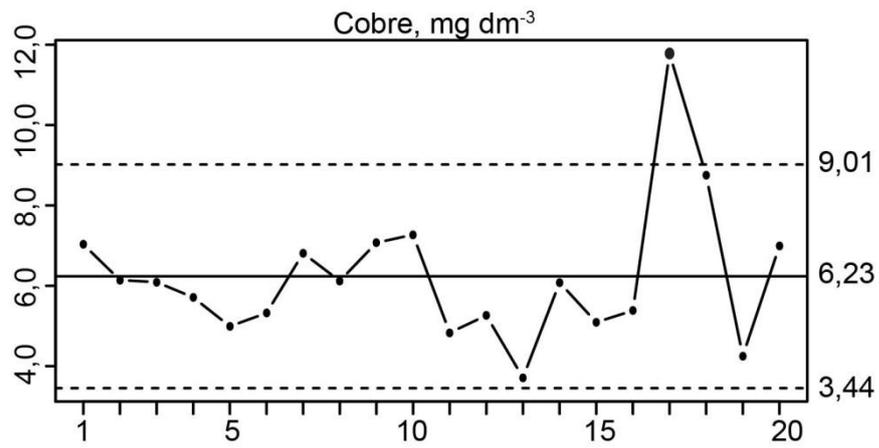


Figura 13 Gráfico de controle para o cobre

O resultado para a condutividade elétrica apresentou valor de $W = 0,95$ e $p\text{-valor} = 0,40$.

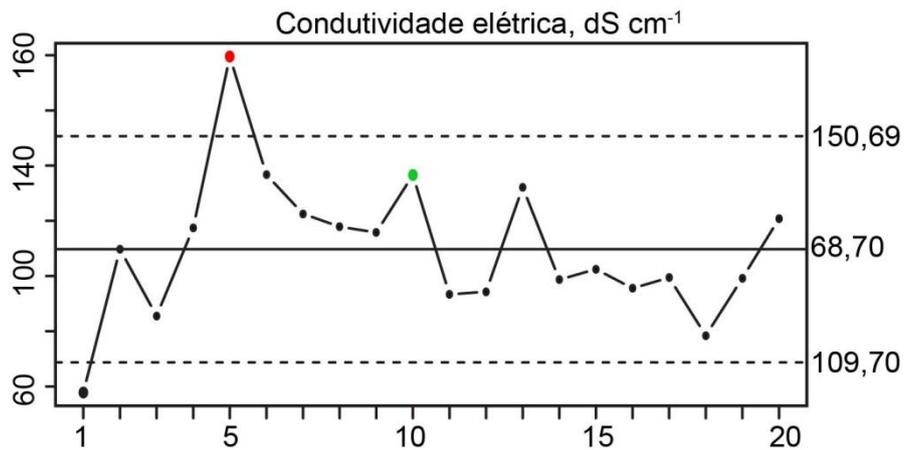


Figura 14 Gráfico de controle para a condutividade elétrica

O resultado para o fósforo apresentou valor de $W = 0,94$ e $p\text{-valor} = 0,25$.

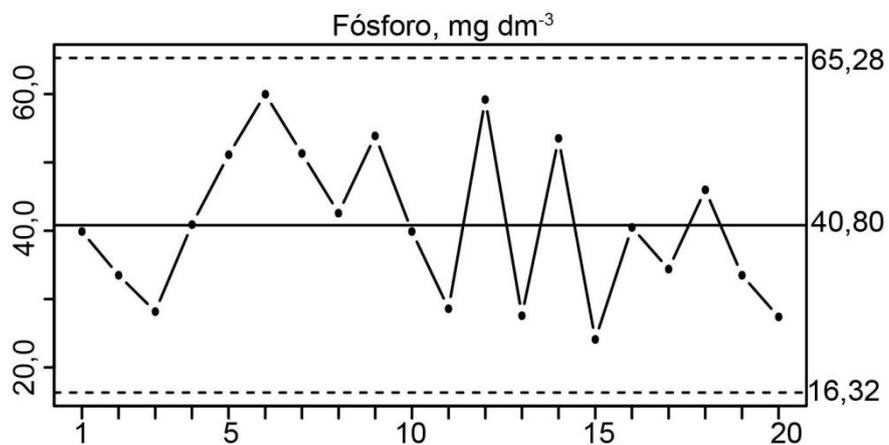


Figura 15 Gráfico de controle para o fósforo

O resultado para o magnésio apresentou valor de $W = 0,92$ e $p\text{-valor} = 0,12$.

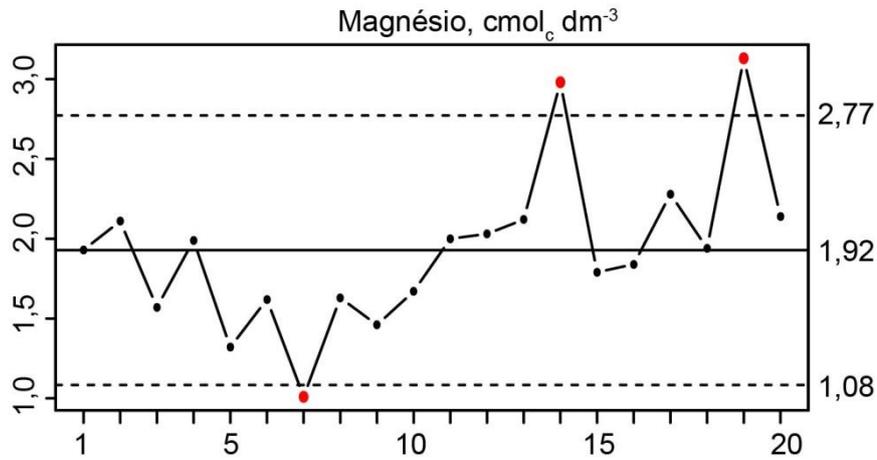


Figura 16 Gráfico de controle para o magnésio

O resultado para o manganês apresentou valor de $W = 0,93$ e $p\text{-valor} = 0,19$.

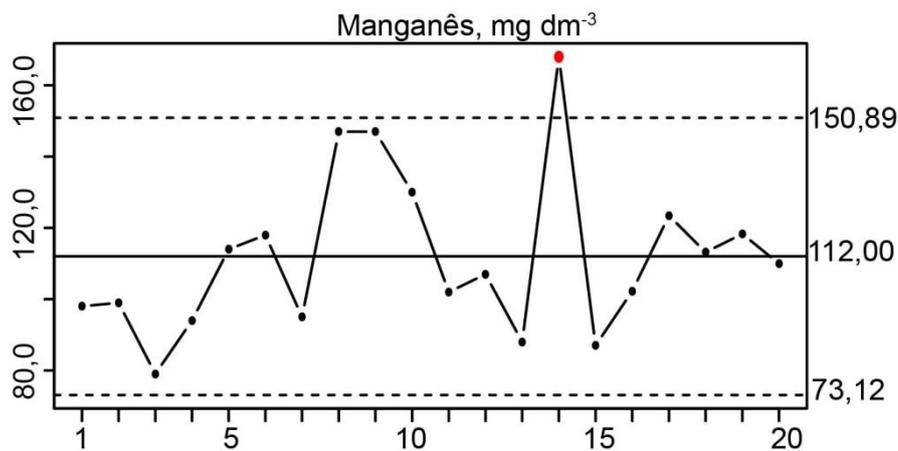


Figura 17 Gráfico de controle para o manganês

O resultado para o pH apresentou valor de $W = 0,93$ e $p\text{-valor} = 0,20$. Ou seja, os dados seguem distribuição normal.

Segundo Terra (2000), o pH afeta a absorção de nutrientes de maneira diversa. As faixas ótimas desse parâmetro mudam de elemento para elemento:

- 5,0-6,0 para Fe e Mn;
- 5,0-7,0 para B, Cu e Zn;
- 8,0-8,5 para molibdênio (Mo).

Portanto, o solo não está em qualquer faixa ótima para a absorção dos nutrientes, pois a média desse parâmetro situa-se em 4,9.

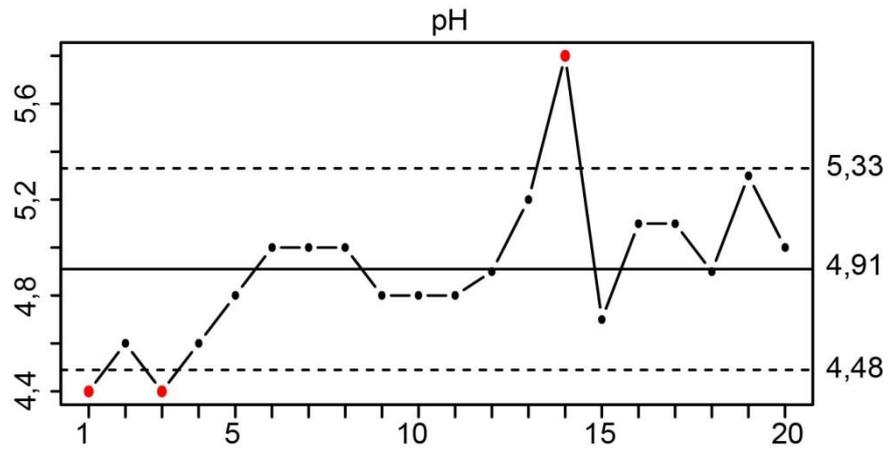


Figura 18 Gráfico de controle para o pH

O resultado para o potássio apresentou o valor de $W = 0,90$ e $p\text{-valor} = 0,05$.

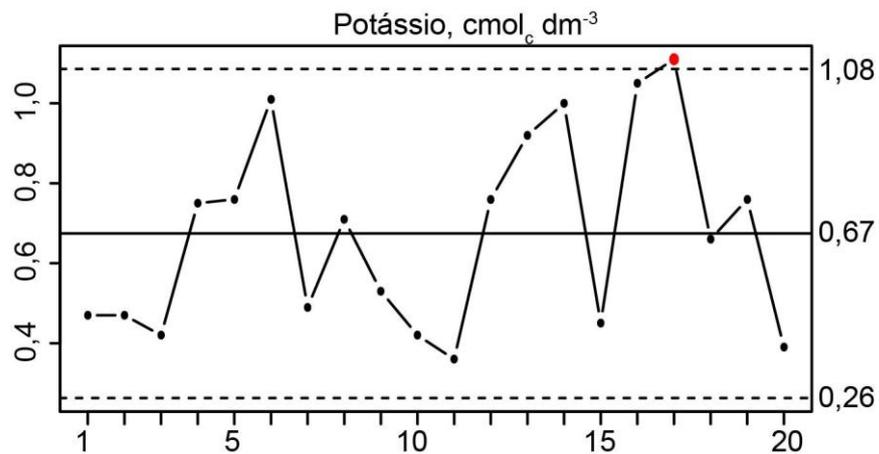


Figura 19 Gráfico de controle para o potássio

O resultado para o zinco apresentou valor de $W = 0,91$ e $p\text{-valor} = 0,09$.

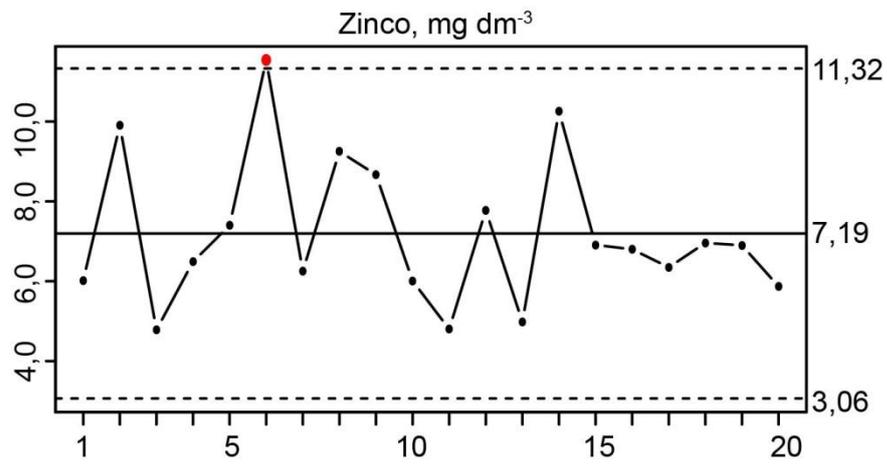


Figura 20 Gráfico de controle para o zinco

O resultado para capacidade de troca catiônica apresentou valor de $W = 0,93$ e $p\text{-valor} = 0,20$.

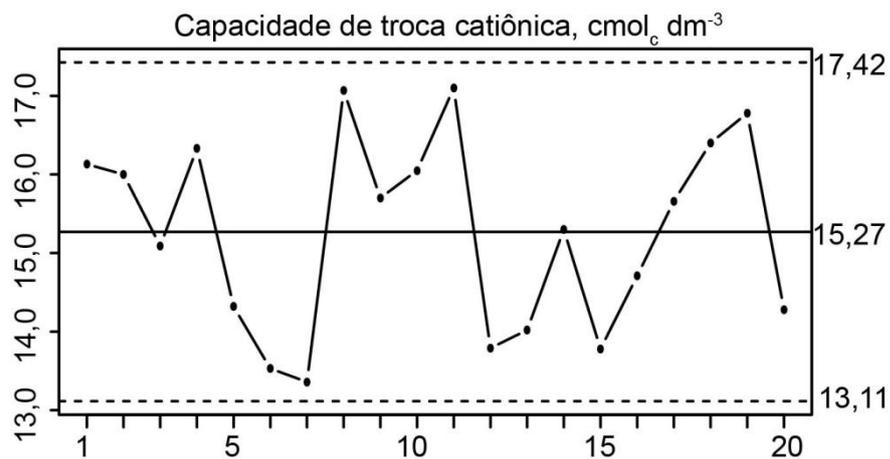


Figura 21 Gráfico de controle para a troca catiônica

O resultado para a relação cálcio x magnésio apresentou os valores de $W = 0,89$, $p\text{-valor} = 0,032$, mostrando que os dados não seguiam distribuição normal. Porém, utilizou-se a transformação logarítmica e os dados então apresentaram valores $W=0,9091$, $p\text{-valor} = 0,06131$.

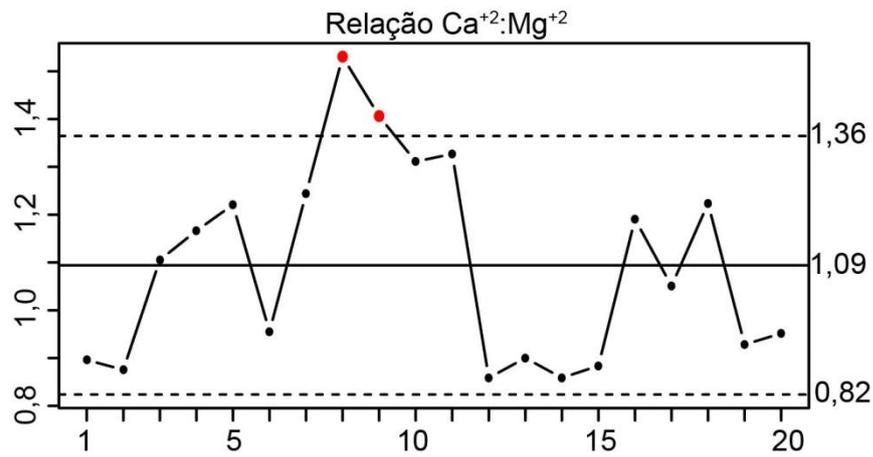


Figura 22 Gráfico de controle para a relação cálcio magnésio

5.2 Gráficos de controle para as propriedades físicas

O resultado para o grau de compactação apresentou valor de $W = 0,97$ e p -valor = $0,88$.

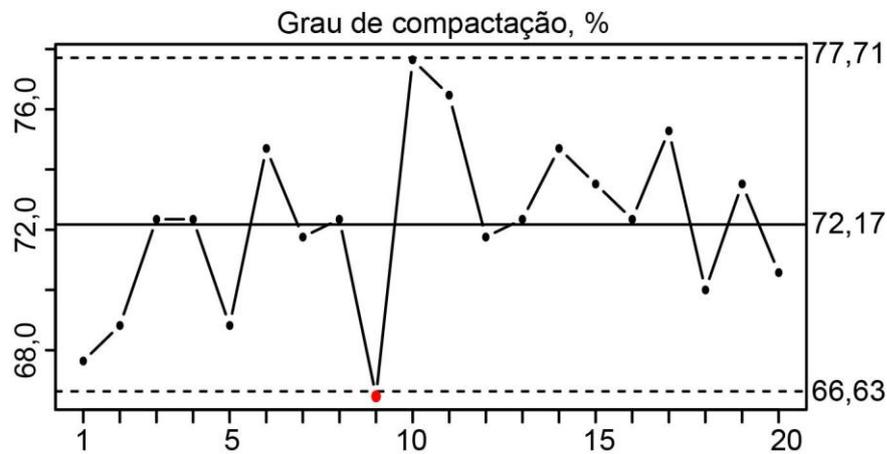


Figura 23 Gráfico de controle para o grau de compactação

5.3 Curva de retenção de água no solo

As amostras foram coletadas com cilindros de plástico (PVC) de 5 cm de altura e diâmetro, na profundidade de 5-10 cm. Foram embalados com filme plástico e papel bolha e foram enviados para o Instituto Agronômico de Campinas, onde foi realizado teste na Câmara de Richards. As pressões utilizadas foram 1 kPa, 10 kPa, 30 kPa, 100 kPa, 300 kPa, 1500 kPa. As curvas foram ajustadas por regressão não linear com o pacote

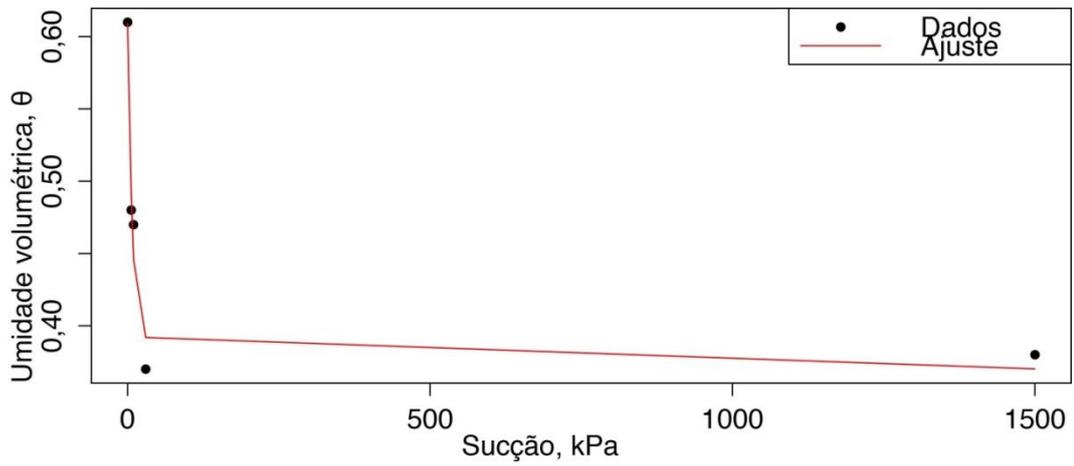


Figura 25 Ajuste de dados para a 2ª amostra

Tabela 3 Coeficientes da regressão não linear para a 3ª amostra

Coeficiente	Valor	Erro padrão	t	Pr(> t)
θ_s	0,62	0,03	19,32	0,03*
θ_r	0,27	0,03	8,21	0,07.
α	0,37	0,32	1,15	0,45
n	2,04	0,88	2,32	0,25

Códigos de significância: 0,01 '**' 0,05 '.' 0,1 ''

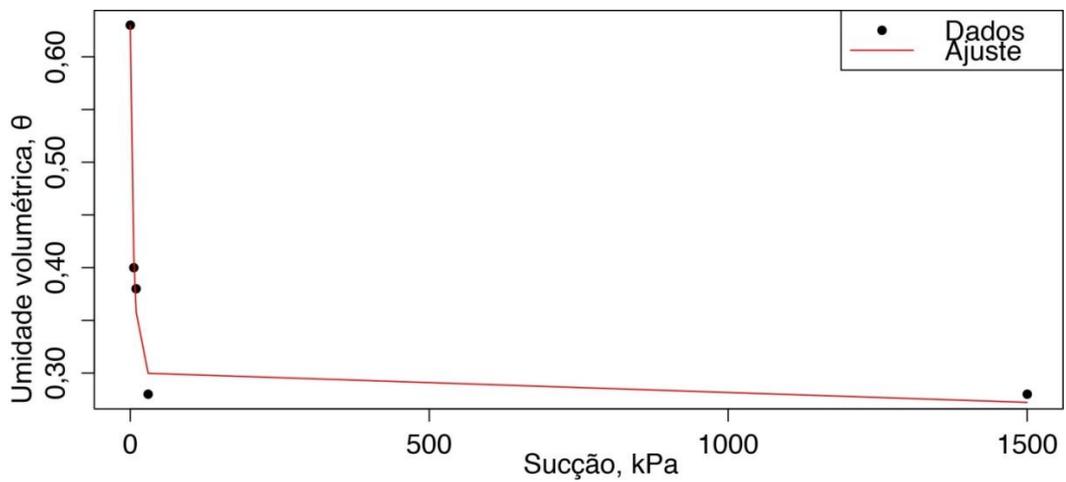


Figura 26 Ajuste de dados para a 3ª amostra

5.4 Índice S para as amostras

O valor de referência para o índice S, de acordo com Dexter (2004), é $S = 0,035$. Este valor é consistente com experimentos em diversos tipos de solo. Valores de $S <$

0,020 estão associados às condições muito pobres de qualidade física.

Segundo Andrade e Stone (2009), o valor limite de $S = 0,045$ mostrou-se adequado à divisão entre solo de boa qualidade estrutural e o solo com tendências a se tornar degradado. Todavia, os valores de $S \leq 0,025$ indicam solos inteiramente degradados fisicamente. O índice S é altamente correlacionado com a densidade do solo, porosidade total e macroporosidade. Logo, tratar-se de um indicador adequado da qualidade física de solos.

O índice S foi calculado para as três amostras coletadas na área e os resultados foram os seguintes valores: $S = 0,106$; $S = 0,096$ e $S = 0,142$. Ou seja, o solo estudado apresenta boa condição física, pois está acima do limite considerado crítico.

Além disso, o cálculo de índice de coesividade para as amostras ficaram em 3240, 5948 e 2533 kPa g^{-1} , (SEM SENTIDO) estes valores são baseados na Equação 7. Tais valores foram considerados baixos se comparados com os apresentados no estudo de Dexter (2004) para solos argilosos.

5.5 Energia integral para as amostras

Para trazer o solo de um conteúdo de água saturado para um conteúdo de água de $0,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ foram necessários pelo menos 100 J kg^{-1} . E que quando chegar ao conteúdo de $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ é quase impossível retirar mais água, pois seria necessária uma quantidade muito grande de energia por grama de água.

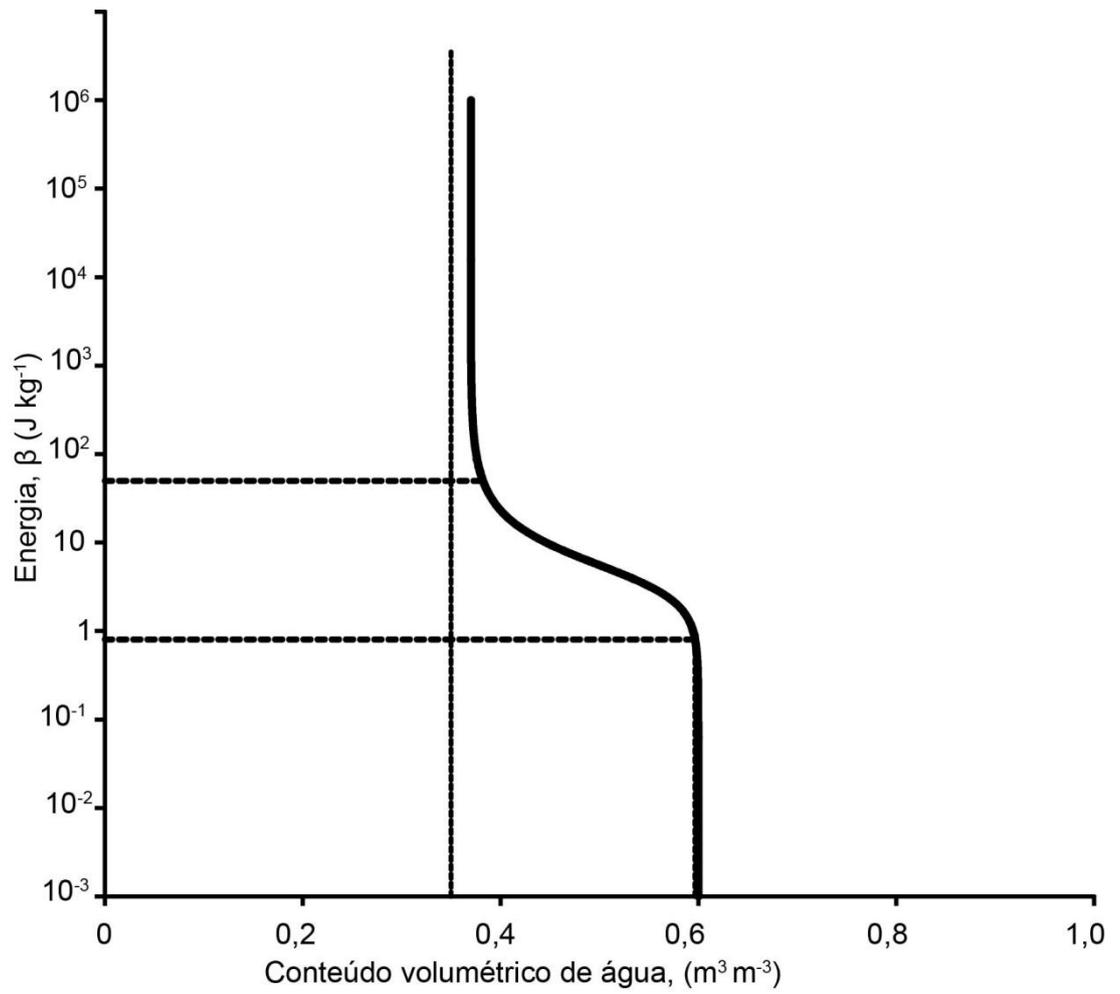
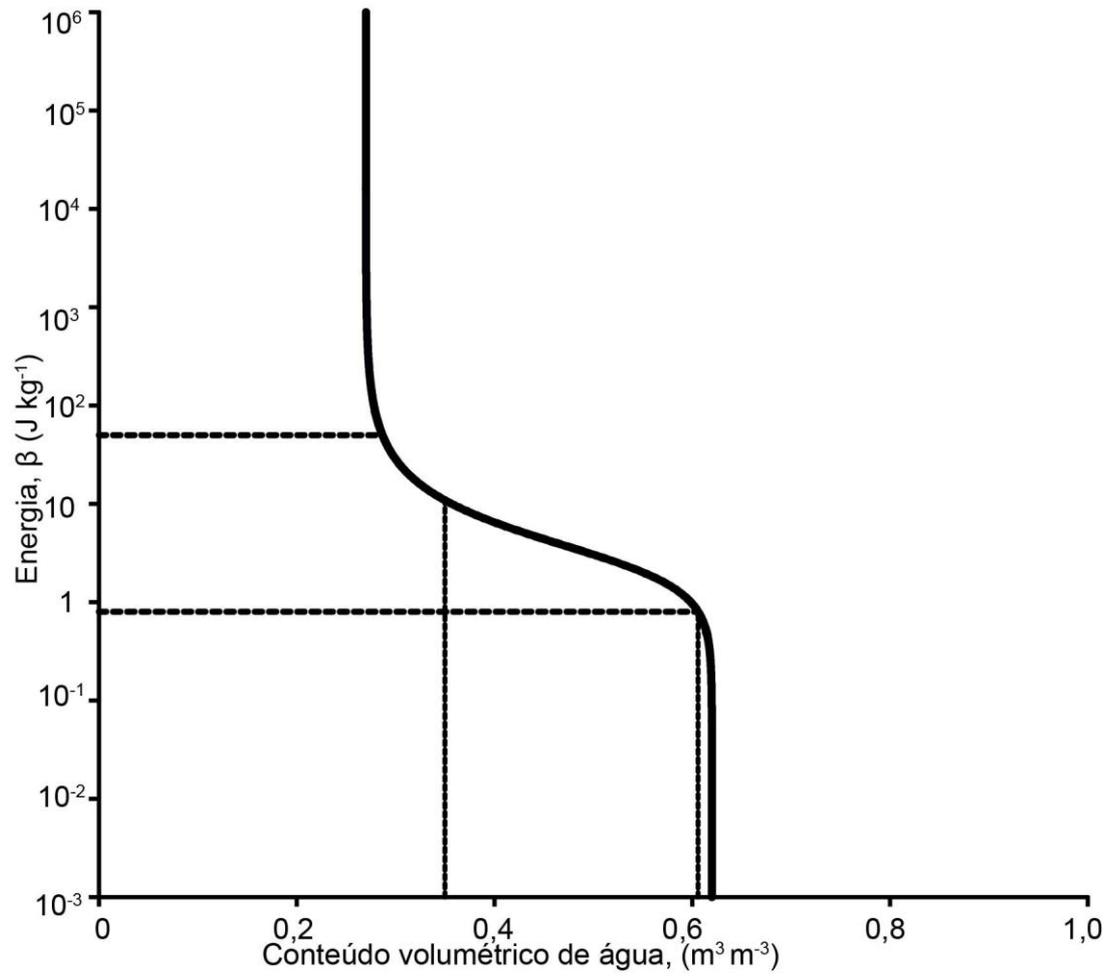
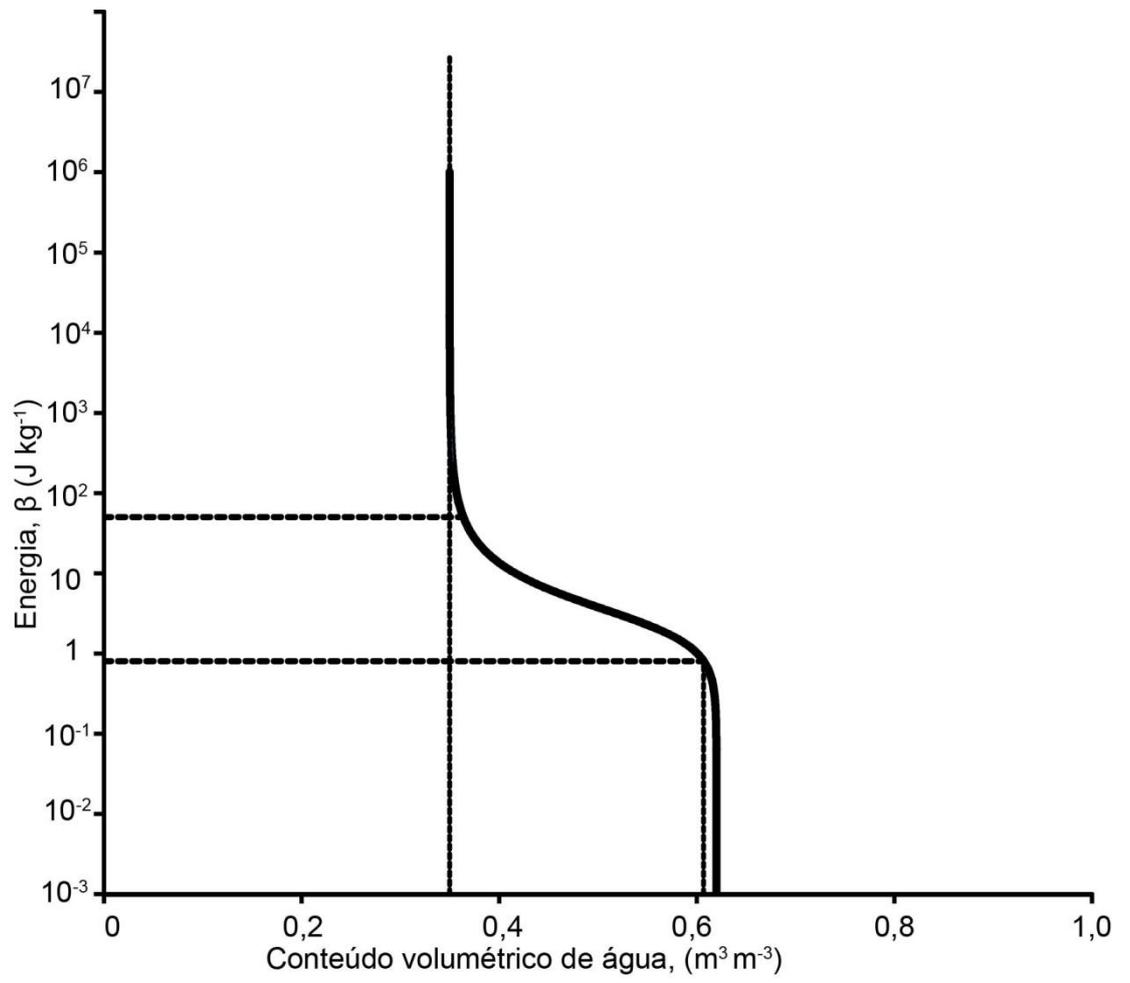


Figura 27 Ajuste de dados da 1ª amostra

Figura 28 Ajuste dos dados da 2^a amostra

Figura 29 Ajuste de dados da 3^a amostra

6 CONCLUSÕES

O índice S foi calculado e, com os valores desse, a área em estudo pode ser classificada como um ambiente propício para o desenvolvimento das plantas.

O índice de endurecimento calculado com os dados da curva de retenção de água no solo mostrou que o solo apresenta baixa possibilidade de endurecimento após os ciclos de molhamento e secagem.

O cálculo da energia a ser utilizada pelas plantas para retirada de água do solo pode ser útil na modelagem do sistema solo-planta, ou seja, deve-se irrigar para que a planta gaste menos energia para retirar a água do solo.

O pH apresenta-se em níveis abaixo de 6,0 e isso pode diminuir a absorção de vários nutrientes e deve ser corrigido com a aplicação de calcário.

Apenas o fósforo, o cálcio e o alumínio apresentaram-se sob controle estatístico de processo. Ou seja, a distribuição dos outros nutrientes ao longo do tempo varia muito.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 382–388, 2009.

BAMBERG, A. L. et al. Temporal changes of soil physical and hydraulic properties in strawberry fields. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 3, p. 385–394, 2011.

BENJAMIN, J. G.; VIGIL, D. C.; VIGIL, M. F. Quantifying effects of soil conditions on plant growth and crop production. **Geoderma**, v. 116, p. 137–148, 2003.

BHERING, S.B. & SANTOS, H.G. Mapa de solos do Estado do Paraná. Legenda atualizada. Rio de Janeiro, Embrapa Florestas/Embrapa Solos/Instituto Agrônômico do Paraná, 2008. 74p.

BODNER, G.; SCHOLL, P.; KAUL, H. P. Field quantification of wetting–drying cycles to predict temporal changes of soil pore size distribution. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 1–9, 2013.

DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil survey manual. [S.l.], 2011.

DEXTER, A. R. Soil physical quality part i. theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects of root growth. **Geoderma**, v. 120, p. 201–214, 2004.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. **Geoderma**, v. 120, p. 215–220, 2004.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 628p

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa, 2009. 397 p.

ES, H. M. van et al. Integrated assessment of space, time, and management-related variability of soil hydraulic properties. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 63, p. 1599–1608, 1999.

FAO. **World reference base for soil resources 2006**. Rome, 2006.

FRIGO, J. P. et al. Irrigação diurna e noturna em um sistema de aspersão convencional em Palotina - pr. **Irriga**, v. 18, n. 2, p. 318–327, 2013.

FRÁGUAS, J. C. Tolerância de porta-enxertos de videira ao alumínio do solo. **Pesq. agropec. bras.**, v. 34, n. 7, p. 1193–1200, 1999.

GENUCHTEN, M. V. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 44, p. 892–898, 1980.

HÅKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer.

Soil and Tillage Research, v. 16, p. 105–120, 1990.

HERMES, E. et al. Quality control in irrigation and fertigation with cassava processing wastewater into drip system. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 11, n. 2, p. 841–845, 2013.

JUCHEN, C. R.; SUSZEK, F. L.; BOAS, M. A. V. Irrigação por gotejamento para produção de alface fertirrigada com águas residuárias industriais. **Irriga**, v. 18, n. 1, p. 243–256, 2013.

JÚNIOR, E. B. et al. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um latossolo vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 971–982, 2012.

JUSTI, A. L.; BOAS, M. A. V.; SAMPAIO, S. C. Índice de capacidade do processo na avaliação da irrigação por aspersão. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 2, p. 264–270, 2010.

LAPEN, D. R. et al. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, Eastern Ontario, Canada. **Soil Till. Res.**, v. 78, p. 137–148, 2004.

LEÃO, T. P. Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de pastejo e manejo de pastagem. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Pircaicaba.

LIMA, V. M. P. et al. Intervalo hídrico ótimo e porosidade de solos cultivados em área de proteção ambiental do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1087–1095, 2009.

MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo do solo por controle estatístico de processo. **Sci. Agric.**, v. 59, p. 261–266, 2002.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. Integral energy as a measure of soil-water availability. **Plant Soil**, v. 249, p. 253–262, 2003.

MOEIS, J. **Functions for soil texture plot, classification and transformation**. [S.l.], 2012. R package version 1.2.10. Disponível em: <<http://soiltexture.r-forge.r-project.org/>>.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. [S.l.]: LTC, 2009. 513 p.

MUBARAK, I. et al. Temporal variability in soil hydraulic properties under drip irrigation. **Geoderma**, v. 150, n. 1–2, p. 158–165, 2009.

ORSSATTO, F.; HERMES, E.; BOAS, M. A. V. Correlação entre d_{qo} e d_{bo} e monitoramento de uma estação de tratamento de esgoto através de técnicas estatísticas de controle de processos. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 155–167, 2009.

PIERCE, F.; GILLILAND, D. Chapter 9 soil quality control. In: GREGORICH, E.; CARTER, M. (Ed.). **Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health**. [S.l.]: Elsevier, 1997. v. 25.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2014

REICHERT, J. M. et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242–254, 2009.

REIS, C. F. et al. Avaliação da qualidade da água para irrigação em salto do Lontra - pr. **Engenharia Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 69–78, 2011.

SÁ, J. C. M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; SANTOS, J. Z.; SANTOS, J. B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil Till. Res.** v. 136, p. 38–50, 2014.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3–4, p. 591–611, 1965.

SILVA, A. P. da; KAY, B. D. Linking process capability analysis and least limiting water range for assessing soil physical quality. **Soil Till. Res.**, v. 79, p. 167–174, 2004.

SILVA, A. P. da; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Sci. Am. J.**, v. 58, p. 1775–1781, 1994.

SONCELA, R. et al. Electrical conductivity of soil irrigated with swine wastewater estimated by time-domain reflectometry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1293–1300, 2011.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.42, n.8, p.1159-1167, 2007.

TERRA, M. M. Cultura de uvas de mesa, do plantio à comercialização. In: BOLIANI, A. C.; CORRÊA, L. S. (Ed.). **Cultura de uvas de mesa: do plantio à comercialização: anais**. Ilha Solteira: Simpósio Brasileiro sobre Uvas de Mesa, 2000. p. 149–176.

TORMENA, C. A. et al. Intervalo ótimo de potencial da água no solo: um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, p. 286–292, 1999.

TORMENA, M. A. A. C. A.; INOUE, T. T.; COSTA, A. Efeitos da escarificação na qualidade física de um latossolo vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, 2004.

WHEATON, A.; MCKENZIE, B.; TISDALL, J. Management to increase the depth of soft soil improves soil conditions and grapevine performance in an irrigated vineyard. **Soil and Tillage Research**, v. 98, n. 1, p. 68–80, 2008.

WUTKE, E. B. et al. Influência da cobertura vegetal do solo na qualidade dos frutos de videira 'niagara rosada'. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 27, p. 434–439, 2005.